



FACULTAD DE PSICOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA BIOLÓGICA Y DE LA SALUD

TESIS DOCTORAL

Aptitud viso-espacial en tests dinámicos

Autor:

Agustín Martínez Molina

Directores:

José Santacreu Mas

Pei-Chun Shih Ma

AGRADECIMIENTOS

A mis padres... un ejemplo... a mi hermano... por su afecto.

A

Pei, por apostar por mí, por el tiempo dedicado y lo que he aprendido de ti.

Pepe, por darme la oportunidad de trabajar en este gran equipo y tu dirección.

Alberto, por ser el tío que todo sobrino querría tener, por mecenas y por ser más que un amigo.

Luís, por tus indispensables ayudas y conocer la medida perfecta en la que ser mi amigo.

María, por todos los esfuerzos.

Montse, por tu profunda lectura de la tesis y acertados consejos.

Alexandra, por tus revisiones.

Al resto del equipo PSI+D, y en especial a las oportunidades brindadas por María José y Roberto.

Miguel Ángel, por mostrarme los conocimientos más prácticos de la carrera y por el último artículo.

A todos los becarios del Lab6, por sus reflexiones y ayudas.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	7
CAPITULO I: <i>Buscando una explicación psicológica del comportamiento viso-espacial</i>	9
1.1 Lo visual y lo espacial	9
1.2 Definición de imagen natural de la realidad	14
1.3 Transformaciones mentales visuales	17
1.4 Lo que cambia en el espacio con el tiempo: el concepto dinámico	24
1.5 La huella visual que se desvanece: Memoria de Trabajo	27
1.6 Grandes tamaños de efecto entre sexos	31
1.7 Dirígete al destino lo antes posible: los tests espaciales dinámicos	34
CAPITULO II: <i>Estudios empíricos</i>	41
2.1 ¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica?	47
2.2 Intelligence, working memory and multitasking performance	57
2.3 Working memory structure and mental rotation: a dynamic spatial study	69
2.4 Looking for a psychological explanation for the spatial performance	91
CAPITULO III: <i>Conclusiones, discusión y líneas futuras de investigación</i>	115
<i>Referencias</i>	119
<i>Lista de Figuras</i>	128
<i>Lista de Tablas</i>	129

PRESENTACIÓN

El trabajo realizado en esta tesis tiene como objetivo contribuir al desarrollo teórico y aplicado de las aptitudes humanas a través del estudio psicológico de las variables visoespaciales más importantes. Para ello, se han utilizado pruebas informatizadas dinámicas que por sus características, ofrecen múltiples indicadores de aptitud con optimizadas propiedades psicométricas. Tres son los capítulos que dividen y organizan el contenido del trabajo.

El Capítulo I nos introduce en el estudio de las aptitudes visoespaciales. En él se hace un breve repaso por los principales trabajos sobre este tipo de capacidades desarrollados desde comienzos del siglo XX hasta llegar al actual uso de los tests informatizados. En ese camino, prestaremos atención a cómo se ha definido el concepto de imagen, la relevancia de sus elementos morfológicos, la importancia de la Memoria de Trabajo en los procesos mentales visoespaciales, las conocidas diferencias entre sexos en el rendimiento y finalmente a cómo se ha llevado a cabo la evaluación espacial dinámica.

En el Capítulo II se presentan cuatro estudios empíricos que cobran sentido dentro de la línea de trabajo desarrollada por el equipo de investigación del que forma parte esta tesis. Esta línea de investigación tiene como objetivo buscar una explicación psicológica al comportamiento visoespacial general. Para comenzar, *el primer artículo* muestra la relación que tienen las variables de ejecución y la morfología de las imágenes con el rendimiento en los tests espaciales dinámicos. En este caso, las distintas configuraciones realizadas en los tests condicionan el feedback y práctica que reciben de los participantes. A continuación, en *el segundo artículo* se

elaboran varios indicadores multitarea en tareas espaciales. En este contexto se analiza la contribución de la Memoria de Trabajo a la explicación del rendimiento viso-espacial. *El tercer artículo* es una integración de todo el trabajo previo. En él se propone teóricamente y se justifica empíricamente un proceso cognitivo clave para explicar el rendimiento de la tarea espacial dinámica (Rotación Mental). En este punto del trabajo se explica cómo se realiza la tarea espacial y de qué depende el rendimiento en el test dinámico. Para finalizar, se desarrolla *un cuarto artículo* dónde utilizando el modelo de rendimiento altamente predictivo elaborado en parte en los trabajos anteriores, se profundiza en la comprensión de las diferencias entre sexos ante tareas espaciales.

Finalmente en el Capítulo III se recogen las principales conclusiones, discusión y futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO I: *Buscando una explicación psicológica del comportamiento viso-espacial*

1.1. Lo visual y lo espacial

Carroll, en 1993, llevo a cabo lo que se ha considerado una de las mayores síntesis sobre inteligencia de la literatura científica. En concreto propuso un modelo donde clasificó las aptitudes humanas en una estructura con tres grados de generalidad creciente (tres estratos). En los últimos 10 años se han incluido los trabajos de Cattell y Horn convergiendo, junto con la de Carroll, en una estructura similar de aptitudes, capacidades o habilidades humanas¹. El modelo integrado Cattell-Horn-Carroll (CHC) presentado en la Figura 1.1, es un marco abierto de consenso, organización y estudio de las habilidades psicológicas (McGrew, 2009).

En el modelo encontramos un factor de procesamiento visual y espacial etiquetado como Gv (ver Figura 1.1). Este componente visual se define como la capacidad individual de generar, almacenar, recuperar y transformar imágenes visuales (McGrew, 2009). Las habilidades espaciales por otro lado, tienen que ver con la búsqueda en el campo visual, de aprehender las formas y posiciones de los objetos percibidos de forma visual, y de cómo se representan y manipulan mentalmente (Carroll, 1993). En el nivel más básico, el razonamiento espacial requiere la capacidad para codificar, recordar, transformar e identificar estímulos espaciales (Lohman, 1979).

¹ En esta línea, aunque mucho antes en el tiempo, se sitúa el primer modelo sobre ingenios (imaginación, entendimiento y memoria) propuesto por Juan Huarte de San Juan, precursor de la Psicología moderna, en 1575.

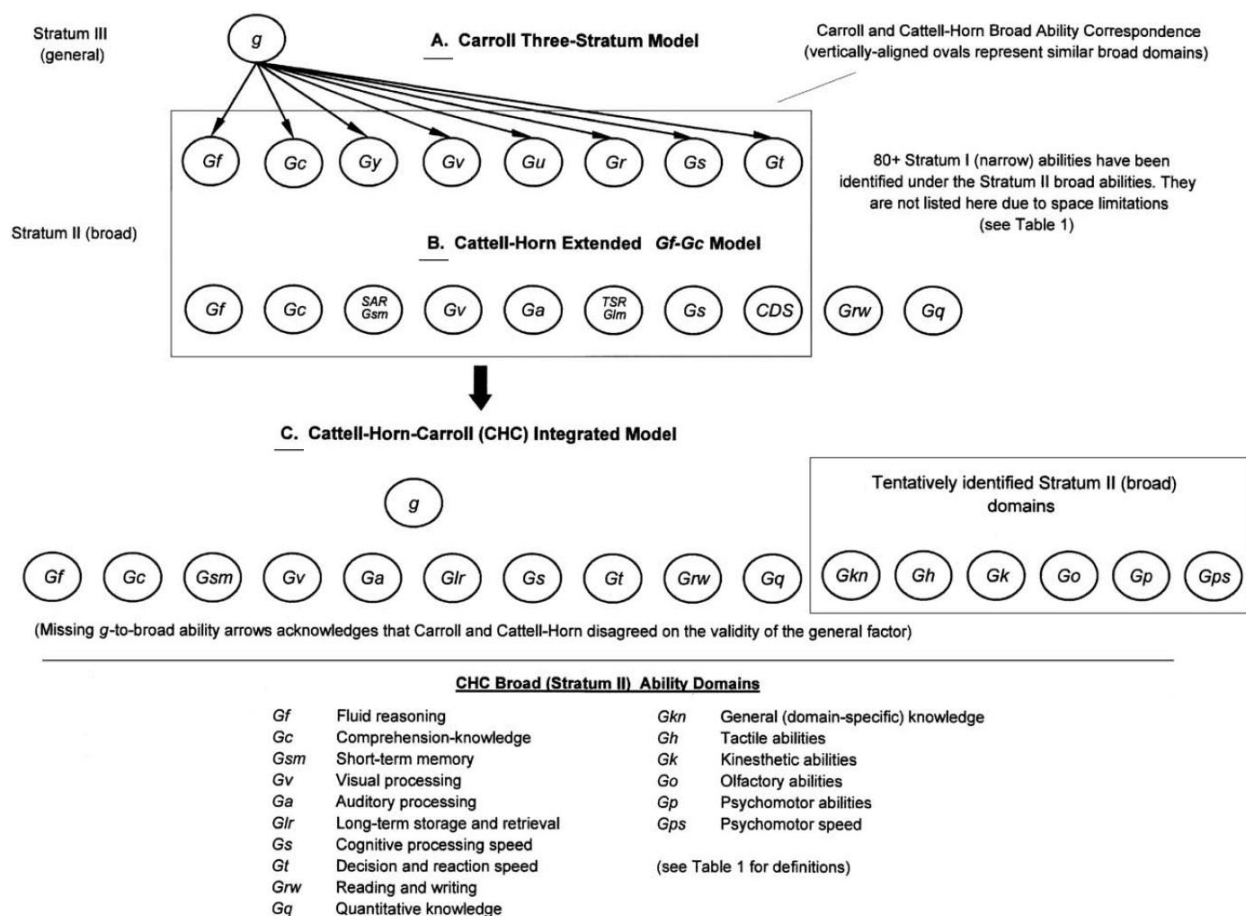


Figura 1.1. En la parte superior del esquema se encuentra representado (A) el modelo de Tres estratos de Carroll; en la parte intermedia, (B) el modelo Extendido de Cattell-Horn (Gf-Gc); y en la parte inferior (C) el modelo integrado Cattell-Horn-Carroll (CHC) (esquema extraído de McGraw, 2009, p. 4).

Gv por lo tanto, hace referencia de forma clásica a dos componentes fuertemente relacionados. Por un lado el componente visual morfológico (forma, textura, color, marco, proporción), y por otro un componente espacial (curso, distancia, dirección, localización). Estamos hablando de habilidades que tratan las propiedades visuales y espaciales de los elementos que percibimos de forma natural directa. Estas aptitudes viso-espaciales han demostrado su relevancia en el estudio de las capacidades psicológicas tanto por su estrecha relación con el factor general de inteligencia, como por su capacidad predictiva ante

determinadas tareas académicas y laborales (Smith, 1964). Además, el estudio de las aptitudes viso-espaciales ha aclarado parte de la estructura de las habilidades humanas (Eliot y Smith, 1983). No obstante, para el avance científico, queda un largo camino a la hora de consensuar definiciones, nombres, conclusiones y formalizar variables relacionadas con el área de conocimiento. Aún siguen vigentes las palabras de Carroll (1993, p. 308): “Los nombres y la interpretación de los factores son en muchos casos ambiguos o indeterminados. Los tests no siempre cargan en sus factores, o lo hacen indiscriminadamente en varios factores.”.

En cualquier caso, ya son varias las ocasiones en las que se ha intentado llegar a un consenso en el estudio de las aptitudes viso-espaciales. Este esfuerzo fue clasificado en tres etapas históricas (Eliot y Smith, 1983). La primera etapa, de 1904 a 1938, una segunda de 1938 a 1961 y la tercera de 1961 a 1982. En la primera etapa, en la que cabría el estudio de Galton (1883) sobre la Imaginación y los de Binet (1904), se perseguía el objetivo principal de mostrar la existencia de una capacidad viso-espacial independiente del factor general de inteligencia utilizando para ello tests de lápiz y papel (Kohs, 1923; Macfarlane, 1925; Alexander, 1935; Thurstone, 1938). Un segundo periodo donde predominó la búsqueda de subfactores viso-espaciales a partir de nuevos y específicos tests (Guilford y Lacey, 1947; Thurstone y Thurstone, 1949; Anderson, Fruchter, Manuel y Worschel, 1954). Finalmente, la tercera etapa señalada se caracterizó por iniciar estudios de validación de habilidades viso-espaciales mediante su relación con otras aptitudes.

A lo largo de esta evolución histórica del estudio de los factores viso-espaciales, ha predominado la tendencia a etiquetarlos con nombres ambiguos en lugar de hacer referencia a las tareas o a las propiedades métricas que los identificaban. Tres han sido los factores que han recibido mayor atención y consenso en su definición: Orientación espacial (SO), Relaciones

Espaciales (SR) y Visualización (Vz) (Lohman, 1979). En los tests que evalúan SO, el participante ha de orientarse en un contexto determinado, e indicar posiciones o direcciones desde una perspectiva concreta en relación a un punto de referencia (Kozhevnikov y Hegarty, 2001). El escenario en el que se lleva a cabo la tarea de orientación puede tener limitaciones o barreras en el movimiento (p. ej. un laberinto) así como señales (ej., feedback) que faciliten o dificulten su ejecución. SO es un factor inicialmente discutido por Carroll, quien a diferencia de Lohman, no encontró evidencia empírica en sus trabajos que avalara la diferenciación de dicho factor. La dificultad en la evaluación de la orientación, sobre todo al utilizar tests estáticos y/o de lápiz y papel, podría explicar esta falta de evidencia. Al presentar el estímulo de forma estática se facilita la resolución de la tarea mediante el uso de otras aptitudes.

Un factor menos discutido es el de relaciones espaciales (SR). Los modelos clásicos propuestos para este factor (Cooper y Shepard, 1973; Mumaw, Pellegrino y Glaser, 1980; Pellegrino, Mumaw, Kail y Carter, 1979) han tratado de explicar el rendimiento en tareas tan sencillas como un rompecabezas en función de: a) discrepancia angular de las piezas, y/o en consecuencia del número de pliegues de las piezas, y b) la distancia entre piezas (Minnesota Form Board Test; Thurstone, 1948). El principal indicador del factor SR es Rotación Mental (RM). En estas tareas, la velocidad de ejecución es importante ya que implica emparejar de forma correcta y rápida información visual (Shepard y Cooper, 1982). Según Carroll (1993), en la evaluación de SR hay que tener en cuenta la velocidad-precisión en la resolución de las tareas, mientras que en otros factores relacionados como Visualización (Vz), lo importante es la complejidad de los estímulos, es decir, manipular mentalmente patrones visuales de mayor nivel de dificultad y sin restricciones de tiempo.

Para algunos autores, las representaciones visuales y procesos usados para comportarse en el espacio son los mismos que intervienen en la invención, la creatividad y el descubrimiento (Tversky, 2008). Al leer algunas introducciones de artículos y manuales sobre las habilidades viso-espaciales, el lector puede quedar admirado por cantidad de bondades que se le atribuyen en campos tan dispares como la medicina, la magia o la investigación.

Pero el razonamiento viso-espacial no es sólo está presente en actividades cotidianas como la de introducir todas las maletas en el coche o meter un gol por la escuadra, también es relevante a la hora de entender un mecanismo, de inventar uno, o incluso de sobrevivir. Su importancia es tal que las referencias espaciales forman parte del cómo estructuramos nuestros pensamientos o la forma en nos expresamos.

Según Tversky (2009), somos criaturas de tres referencias espaciales básicas o ejes: cabeza-pies, delante-detrás y derecha-izquierda. A partir de estas referencias espaciales partimos y formamos el mundo percibido en el cual nos comportamos. El cuerpo no sólo participa de estos ejes sino que los usa para localizar, hacer referencia, medir, organizar y transformar la realidad percibida.

Por lo tanto, es clara la importancia y la presencia de las habilidades viso-espaciales tanto en lo cotidiano, como en lo profesional, motivando tanto su estudio científico como su carácter aplicado en la selección de personal, por ejemplo. Sin embargo, según Hunt (2010) es sorprendente la escasez de baterías que permiten evaluar de un modo completo, riguroso, fiable, válido, estas habilidades, encontrándose así una importante laguna que la investigación debe cubrir.

1.2. Definición de imagen natural de la realidad

Una vez que hemos situado conceptualmente las aptitudes viso-espaciales dentro la teoría general de la inteligencia, vamos a tratar de definir cuál es el elemento central, el objeto sobre el que opera o nos comportamos con las aptitudes viso-espaciales.

¿Qué es una imagen?

Las imágenes han de ser analizadas y descritas si consideramos que sus propiedades pueden ayudarnos en el estudio de las aptitudes humanas. Pero definir una imagen no es una tarea sencilla. Las imágenes pueden ser clasificadas y definidas en función de múltiples criterios. En los trabajos presentados, seguiremos una perspectiva natural de clasificación y definición, eligiendo criterios que contengan elementos de correspondencia entre la imagen y la realidad que modelizan.

Empezaremos con la misma definición de imagen. De los diferentes tipos de imágenes, nos referiremos principalmente, a las imágenes naturales visuales, es decir, a aquellas que las personas perciben normalmente del entorno que les rodea. En ausencia de cualquier anomalía en el sistema visual humano, la imagen tiende a guardar una identidad visual total con el referente, es decir, a ser una representación visual de un objeto real.

Villafañe (2006), propone un marco teórico desde el que formalizar los elementos de la imagen en tres grupos:

1. Elementos morfológicos: punto línea, plano, textura, color y forma.
2. Elementos dinámicos: movimiento, tensión y ritmo.
3. Elementos escalares: dimensión, formato, escala y proporción.

Los elementos propuestos distiguen entre lo visual, lo espacial y lo escalar. Desde este marco teórico, los elementos morfológicos de la imagen son las piezas que constituyen la estructura visual, es decir, los componentes materiales y tangibles en los que se ordenan las representaciones visuales. Estos elementos poseen características formales cuya complejidad puede ser descrita objetivamente. Aunque complicado, es posible codificar la realidad a través de un reducido repertorio de elementos formales. Esta complejidad morfológica depende del tipo y número de elementos más sencillos que contenga. Una forma puede estar integrada por líneas y estas a su vez por puntos. Además tenemos colores que implican en muchos casos densidades y texturas. El resultado final, imágenes visuales de diferentes complejidades.

Hablaremos a continuación de tres elementos morfológicos que más adelante tendrán un importante papel en este trabajo; el punto, la línea y el plano (Figura 1.2). El punto parece ser el elemento morfológico más sencillo. La línea es también otro elemento visual de primer orden y se le atribuye las funciones de señalar y significar (Berger, 1976). La línea crea vectores de dirección que aportan dinamismo a la imagen. No hay otro elemento dinamizador que cumpla con esta función de una manera tan simple. Estos vectores condicionan la percepción de la imagen. El plano sin embargo, es un espacio bidimensional que contiene infinitos puntos y líneas.

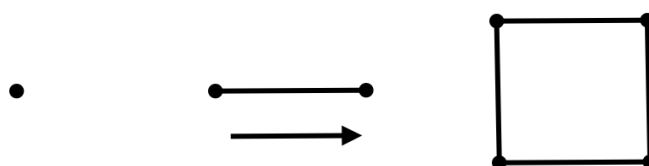


Figura 1.2. Punto, línea y plano: Elementos morfológicos sencillos de la imagen.

Existen diferentes métodos para evaluar la complejidad estructural de las imágenes. Algunos son cuantitativos como el "método de cuantificación de rasgos" o el método "Hochberg-McAlister" (1953). Estos métodos se basan en asignar una cantidad o una magnitud gradual continua a los aspectos formales que las componen. Por ejemplo cuantificar el número de ángulos, líneas, distancias u orientaciones que definen la imagen. El resultado final es un indicador con el que comparar, ordenar y razonar la complejidad de las imágenes analizadas (Figura 1.3).

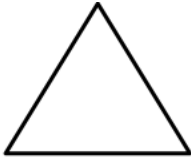


			
Ángulo (nº de ángulos diferentes)	1	2	3
Distancia (nº de lados diferente)	1	2	3
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
TOTAL	2	4	6

Figura 1.3. Ejemplo de análisis de complejidad estructural a partir de la evaluación de los rasgos formales comparando tres imágenes (adaptado de Villafañe, 2006, p. 129).

En este sentido, los tests espaciales han empezado por cuidar el diseño de las tareas de forma que se controla el nivel de dificultad visual. Tareas sencillas como la realización de un puzzle, o más complejas como la orientación dinámica, son más fáciles cuando los elementos con los que hay que trabajar son simples (puntos, líneas, figuras geométricas simples) en lugar de figuras con diferentes densidades de color o múltiples formas (p. ej. SODT-R, Santacreu 1999).

1.3. Transformaciones mentales visuales

En el primer punto de este capítulo se ha expuesto el marco general de las habilidades viso-espaciales y la importancia teórico-práctica que de él se deriva. Luego hemos propuesto una definición de imagen basada en las características objetivas que se han de procesar con esas habilidades. En este apartado daremos el siguiente paso hablando de la percepción visual, es decir, de las operaciones mentales asociadas a las habilidades con imágenes percibidas. La percepción visual es una de las experiencias psicológicas más sorprendentes y también de las más complejas de explicar.

Para Gibson (1947), percibir visualmente es ante todo recoger directamente parte de la entidad física real. Desde los estudios de Hubel y Wiesel (1959) sobre campos receptivos, el progreso realizado en el entendimiento de las imágenes mentales visuales ha sido grande, como también lo ha sido la convergencia entre las investigaciones cognitivas y neurocientíficas. Se han descrito claras disociaciones entre la información visual de un objeto y la información espacial necesaria para interactuar con él (Damasio y Benton, 1979; Perenin y Vighetto, 1988). Además, parte de las imágenes mentales comparten los mismos mecanismos neurales de la visión. El solapamiento entre los patrones de activación cerebral cuando imaginamos y cuando percibimos está bien documentado. Este paralelismo tiene su correlato cuando se estudian los déficits de daños cerebrales (Kosslyn y Thompson, 1999).

Sin embargo, el estudio de los cambios perceptivos desde un punto de vista fenomenológico es complicado, ya que el objeto mismo de investigación no puede ser evaluado por observación directa, sino a través de comportamientos en tareas determinadas. Las transformaciones mentales requieren tiempo, producen errores e imponen ciertas exigencias. Este

estudio es por tanto indirecto y los procesos se infieren a partir de conductas indicativas (Crespo, 2002). En Psicología, algunas percepciones y sus transformaciones han sido descritas mediante formalismos analíticos, sin embargo las visuales se describen como una correspondencia continua, relación de semejanza o analogía entre lo físico y lo psicológico. Estos formalismos analógicos sustentan que la imagen mental preserva propiedades métricas de los objetos que representan (Crespo, 2002). Las investigaciones iniciales de Shepard y Metzler (1971) y de Shepard y Cooper (1982), generaron grandes expectativas acerca del uso de las imágenes como formalismos analógicos. Los datos apoyaban que los participantes generaban una imagen mental de las figuras y que en el caso de poseer ciertas discrepancias, éstas eran eliminadas antes de dar una respuesta. Los primeros resultados indicaban que la respuesta ante tareas de rotación según el tiempo y su precisión, se producía en tiempo real y en relación directa al incremento del ángulo de discrepancia. Por un lado tenemos imágenes mentales y sus propiedades dentro del espacio visual (punto, línea, color, forma, movimiento, profundidad, etc.), y por otro, transformaciones mentales visuales, que hacen referencia a los cambios que las personas realizan sobre las propiedades de los elementos representados en el pensamiento con imágenes. En resumen, que las transformaciones mentales visuales tienen un componente activo teóricamente más relacionado con lo espacial que con lo meramente visual.

Sin embargo, investigaciones posteriores han señalado también que esta correspondencia o analogía de las imágenes no es exacta, al igual que tampoco lo son otros formatos como por ejemplo los proposicionales (Pylyshyn, 1981).

¿A que se debe este desajuste?

Desde los principios de la Gestalt, se propone que las transformaciones mentales visuales (translaciones de estímulos externos, agrupaciones por similaridad, proximidad, continuidad,

etc.) añaden o distorsionan la información percibida, con el objetivo de interpretar la realidad de una forma más sencilla. Kosslyn (1975, 1978, 1983) sugirió entender las imágenes mentales de forma ponderada y limitada, es decir, dentro de un contexto o medio espacial mental con propiedades análogas a un espacio físico. Kosslyn se apoya en sus estudios donde muestra las relaciones lineales entre la distancia escaneada y los tiempos de escaneamiento.

Sería en los límites de ese medio o espacio mental donde se aplicarían diferentes mecanismos de transformación como la rotación o la ampliación-reducción de imágenes. Estos trabajos sostienen de nuevo que las imágenes mentales conservan, aunque no sea de forma exacta, propiedades morfológicas y espaciales de lo que representan.

Por otro lado, se tendrá que seguir estudiando en qué medida el comportamiento visoespacial se debe a las diferentes propiedades métricas (incluida la configuración del estímulo visual). La forma que los sujetos perciben viene determinada también por las características o propiedades de los objetos, es decir, por las líneas, el tamaño, los ángulos, la longitud, las intersecciones, etc. Incluso las “relaciones” perceptivas entre los elementos pueden estar determinadas por estas características geométricas.

En este sentido queda mucho trabajo por hacer, la mayor parte de los estímulos utilizados en los experimentos o estudios no están completamente formalizados. Un lenguaje de representación formal como es la Geometría y en concreto la Geometría Espacial, la Descriptiva y actualmente la Geometría Digital (Klette y Rosenfeld, 2004) ayudará a formalizar, describir y analizar dichas características de los estímulos utilizados en los experimentos o estudios. Casi todas las propiedades visuales simples comentadas tienen una traducción geométrica directa. Por ejemplo, las figuras que difieren sólo en su *posición* están relacionadas por translaciones a lo largo de una línea; las que difieren en *orientación* están relacionadas con rotaciones en un punto;

las que difieren en *tamaño*, dilaciones radiales (por expansiones o contracciones) de su área en un punto; y las que difieren en su *sentido*, por reflexiones en una línea.

En definitiva, las translaciones, rotaciones, dilaciones, reflexiones y sus compuestos, establecen equivalencias bidimensionales cuantificables entre elementos. La relación entre estas transformaciones establece unas reglas de semejanza geométrica plana. Para encontrar esa analogía entre lo exterior y lo interior, parece razonable describir la realidad de la forma más objetiva posible a través de la geometría espacial, por ejemplo, y ver después el grado de correspondencia con las medidas psicológicas.

Finalmente, antes de analizar las propiedades de estas transformaciones hay que tener en cuenta una serie de aspectos que también han sido señalados en la literatura científica:

a) Que pueden estar compuestas por pasos o estadios intermedios desde el controlado input hasta el observado output, es decir, que para resolver algunos problemas, las personas pueden necesitar más de una transformación mental sobre las figuras.

b) Que el orden en el que suceden las diferentes transformaciones no es claro. Por ejemplo, en el caso de un puzle, se puede obtener la misma respuesta realizando una rotación y una traslación, que trasladando la figura y luego rotándola.

c) Por otro lado, hay que destacar que este tipo de comportamientos son difíciles de explicitar y, en el caso de que se expliciten, hay que tener en cuenta los sesgos del auto-informe, es decir, la diferencia entre lo que el sujeto dice y lo que hace bien por deseabilidad social o falta de conocimiento (Hernández, Santacreu y Rubio, 1999).

d) Sesgos también por parte del evaluador con sus juicios subjetivos a la hora de hacer la inferencia sobre este tipo de respuestas (Colom, 1995).

e) Que muchas de estas transformaciones estáticas o dinámicas son de diferentes naturalezas, es decir, que son posibles no sólo en formato visual, sino también desde otro tipo de representaciones y transformaciones como por ejemplo las verbales (Talmy, 1983).

f) Y finalmente, un elemento que puede influir decisivamente es el *marco de referencia*. Cuando las personas realizan tareas viso-espaciales como por ejemplo la navegación, el control de un vehículo, o entender la estructura de unos datos, generalmente lo hacen tomando referencias, es decir, un contexto, un entorno, una pantalla, etc. Estos entornos son marcos de referencia que influyen directamente sobre las transformaciones mentales (Wickens, Vincow y Yeh, 2005).

Hay una gran variedad de marcos de referencia, algunos son bien conocidos como el sistema cartesiano y sus cuatro direcciones derivadas o puntos cardinales, Norte, Sur, Este y Oeste. Como ya se ha señalado, aplicados a la propia persona y tomándose a si mismo o al observador como origen de la percepción inmediata, tres ejes espaciales dividen el cuerpo en seis partes: delante/detrás, arriba/abajo, derecha/izquierda (Tversky, 2005a). Otros marcos de referencia como son por ejemplo el de una pantalla o un panel de control como referencia de orientación y movimiento, etc.

Un marco de referencia independiente es el que no altera las transformaciones sobre los elementos que contienen. Los marcos de referencia, como elementos que se perciben igualmente, pueden influir sobre las transformaciones de los elementos que los contienen. Las transformaciones sobre los marcos de referencia pueden compensar a su vez las transformaciones de los elementos percibidos dentro del marco. La correspondencia entre el marco de referencia y los elementos que contiene puede ser equivalente o intrínseca (más parecida o relacionada), en lugar de arbitraria, o lo que es lo mismo, pueden compensar en alguna medida las diferencias de

orientación, sentido, tamaño y posición; por poner algunos ejemplos, los marcos de referencia naturales serían los favorables a la fuerza de la gravedad, los que tienen el mismo punto de vista que el de los ojos en la cabeza de las personas, los que reducen asimetrías, etc.

Aunque hay transformaciones identificadas y descritas, dos son las que han recibido mayor atención en la literatura científica, a) las que hacen referencia a los cambios de Rotación y b) las que implican cambios de Orientación (Shepard y Cooper, 1982). Estas dos transformaciones mentales viso-espaciales son independientes y producen diferentes patrones de comportamiento. Pueden ser aplicadas sobre representaciones de lo concreto o lo abstracto, siendo una base para la imaginación, es decir, creación de imágenes visuales pero ya no directas o naturales.

Las representaciones mentales viso-espaciales conservan parte de las propiedades físicas (p. ej., distancia, tamaño, rotación) Shepard y Metzler, (1971) y Shepard y Cooper (1982), demostraron el paralelismo entre el tiempo que se tarda en hacer un determinado juicio viso-espacial en la memoria, y el realizado de forma física en el mundo real. Señalamos de nuevo esto porque la primera demostración fue realizada con la Rotación Mental, hallando una relación lineal positiva entre el tiempo de resolución de la tarea y los grados de discrepancia en las orientaciones de las figuras en el ítem. Este tipo de relación señalaba además un proceso mental continuo en contraposición con otros estímulos de percepción discreta como las letras. Aun con pocas evidencias, estos resultados también han sido replicados en niños. Piaget y Inhelder (1971) señalaron cómo ciertos niños en edades tempranas (tres años) resolvían correctamente este tipo de tareas, encontrando además la misma relación lineal que en los adultos entre cantidad de rotación y tiempo de respuesta.

Los análisis de tareas viso-espaciales simples han mostrado que la rotación mental implica a) la codificación de los estímulos, 2) la rotación de alguna de los estímulos, 3) la comparación del estímulo rotado con los otros estímulos, y 4) la ejecución de la respuesta (ver Figura 1.4).

Posteriormente se han identificado tres importantes características para controlar la magnitud del coste del ejercicio de Rotación Mental (Wickens, Vincow y Yeh, 2005):

1. Disparidades angulares menores de 45° parecen no comportarse de forma lineal, siendo más fáciles de resolver (Wickens, 1999).
2. Los grados de libertad de movimiento de los paneles de control pueden aumentar la dificultad exponencialmente.
3. Las estrategias verbales o categóricas pueden alterar los resultados sobre discrepancias angulares grandes (Gugerty y Brooks, 2001).

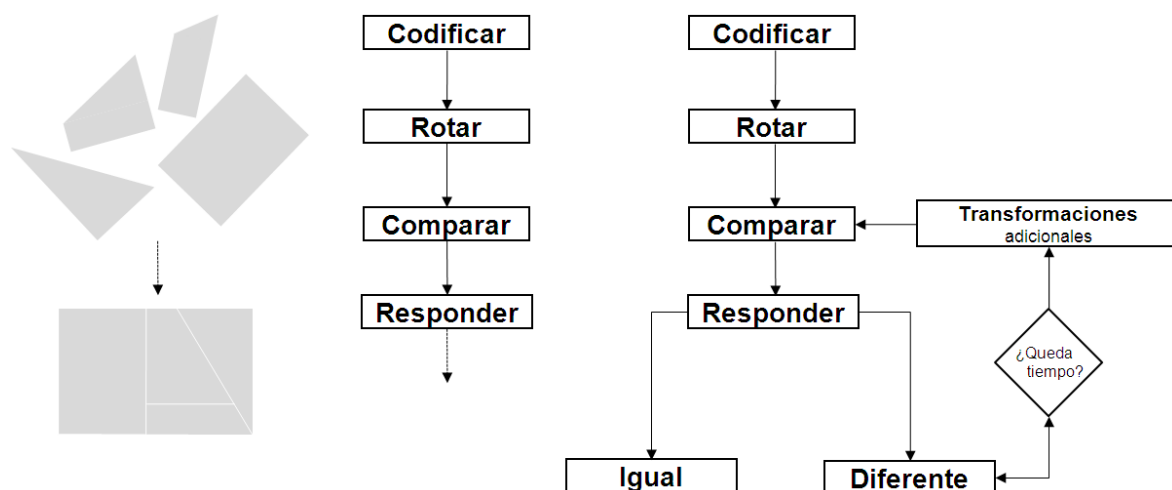


Figura 1.4. Modelos de solución de problemas simples de rotación espacial. Ejemplo de ítem (izquierda); Modelo deadline de Cooper y Shepard, 1973 (centro); Modelo deadline modificado de Carter 1979 (derecha).

Aparte de la Rotación Mental y Orientación, también se han sugerido otras transformaciones mentales viso-espaciales que no han sido examinadas en profundidad. Aunque hay alguna taxonomía al respecto (Tversky, 2005b), queda pendiente elaborar un exhaustivo catálogo donde se recojan todas las transformaciones mentales visuales existentes.

1.4. Lo que cambia en el espacio con el tiempo: el concepto dinámico

. En este apartado trataremos específicamente el concepto “dinámico”. Aunque desde un punto de vista físico la materia no sea estrictamente estática, a nivel psicológico referiremos que un objeto es *dinámico* cuando percibamos que sus propiedades cambian en el tiempo. Por el contrario, un objeto *estático* es aquel cuyas propiedades percibidas no cambian en el tiempo (Eliasmith, 2009). En el caso de los estudios de esta tesis, con el término espacial dinámico nos referiremos a la *sucesión* de estímulos cuyas propiedades espaciales cambian en el tiempo, por ejemplo, cuando están en movimiento. Las habilidades espaciales tendrán un componente dinámico cuando estas involucren estímulos cuyas propiedades cambien en el tiempo.

No podemos continuar sin aclarar que en la literatura científica actual sobre habilidades espaciales, cuando se habla sobre imágenes o tareas, encontramos un uso confuso e indiferenciado entre los términos “visual, espacial, estático, dinámico, pasivo y activo”. Estos términos, hacen referencia a conceptos independientes.

Como hemos referido al comienzo de la introducción, los dos primeros (visual y espacial) hacen referencia a “*qué se representa*”. Con el término visual se alude a las propiedades morfológicas de las imágenes (forma, color, textura, etc.), mientras que con espacial hacemos referencia al continente o lugar de la imagen (localización, curso, distancia, etc.). Los términos estático y dinámico tratan de definir “*cómo se representa*” la imagen. Con estático hacemos referencia a la constancia de las características del estímulo y con dinámico al cambio de esas características. Finalmente, los últimos adjetivos indican “*cómo se procesa*”. Con pasivo se hace referencia a un menor número de procesos implicados en sobre información percibida, mientras que con activo se hace referencia a la existencia de un mayor gasto atencional o incluso diversas transformaciones mentales. De tal forma que podríamos tener incluso imágenes visuales dinámicas, imágenes espaciales estáticas, que necesiten o no de un procesamiento activo o pasivo de sus características.

A partir de los trabajos de Pellegrino y Hunt (1989) quedó definido el Razonamiento Espacial Dinámico (DSR), diferenciado en parte de otras medidas espaciales estáticas. Identificaron un factor que resumía la capacidad para trabajar con estímulos que se mueven en una dirección, en un espacio y en un tiempo determinados. Estos autores plantearon dudas sobre la validez de las medidas de lápiz y papel para evaluar las estimaciones de movimiento. Además enunciaron parte de las ventajas que supondría el estudio de algunas las habilidades visoespaciales mediante una evaluación informatizada añadiendo validez ecológica. Y es que la evaluación dinámica del recuerdo, de la extrapolación de trayectorias, de velocidades relativas y combinaciones de estas, mostrando estímulos en movimiento y registrando la capacidad de integrar toda esa información en tiempo real, no ha sido evaluada con ciertas garantías hasta finales del siglo XX gracias al uso de ordenadores.

Estas referencias conceptuales a capacidades relacionadas con objetos sólidos en movimiento frente a cuando estos se presentan de forma estática, fueron ya planteadas anteriormente por diferentes autores (Seiberg y Snow, 1965; Thurstone, 1948). Gibson (1947), realizó los primeros estudios con objetos móviles proyectando aviones en una pantalla mientras los sujetos estimaban sus velocidades. La evidencia empírica posterior continuó apoyando la existencia de un componente dinámico. Sin embargo, también hubo discrepancias que cuestionaban el factor dinámico como un posible artefacto informático o de método (Larson, 1996).

No obstante, trabajos posteriores han continuado apoyando la existencia de un factor dinámico (Contreras, Colom, Hernández y Santacreu, 2003; D' Oliveira, 2004; Schiff y Oldack, 1990), el cual a su vez, estaría integrado en un único factor de orden superior (Gv) concurriendo así con los modelos generales de aptitudes humanas comentados al inicio del capítulo (Colom, Contreras, Botella y Santacreu, 2002; Colom, Contreras, Shih y Santacreu, 2003; D' Oliveira, 2004).

Los tests viso-espaciales dinámicos han sido utilizados también como indicadores de inteligencia fluida con saturaciones medias–altas, entre 0,34 a 0,57 (Carroll, 1993). También han mostrado relaciones moderadas con el factor general de inteligencia (g) de 0,22 (Contreras, Colom, Hernández y Santacreu, 2003). Aprovechando estos trabajos en contextos dinámicos, se abre una nueva etapa en el estudio de las transformaciones mentales visuales, la inteligencia y la Memoria de Trabajo.

1.5. La huella visual que se desvanece: Memoria de Trabajo

El factor de inteligencia viso-espacial puede ser explicado en parte por la Memoria de Trabajo (Shah y Miyake, 1996). Una de las principales conclusiones a la que se ha llegado a partir de los estudios de procesos cognitivos, es que sujetos con altas o bajas puntuaciones en tareas de Gv, difieren en la calidad de sus representaciones espaciales (Lohman, 1988; Mumaw y Pellegrino 1984). Una menor capacidad de conservar información visual hace menos probable mantener las propiedades de una imagen después de transformarla, es decir, después de operar con ella mentalmente (Just y Carpenter, 1985; Lohman, 1988; Mumaw y Pellegrino 1984).

El estudio de la Memoria de Trabajo en su componente viso-espacial ha contribuido especialmente al entendimiento del funcionamiento general de toda la Memoria de Trabajo y a cómo ésta trata las imágenes mentales (Logie, 1995).

Muchas de las actuales teorías definen la Memoria de Trabajo como un sistema de capacidad limitada, especializado en, a) mantener activa temporalmente la información mientras sea necesaria para la realización de una tarea, b) controlar los recursos atencionales hacia el objetivo, c) evitar distracciones y d) gestionar otros subprocessos requeridos en tareas complejas (Baddeley, 1986; Engle, Kane, y Tuholski, 1999; Miyake y Shah, 1999). Para dar cuenta de estas tareas, Baddeley y Hight (1974) propusieron originalmente un sencillo modelo de tres componentes que conformarían la Memoria de Trabajo (ver Figura 1.5). Dos componentes subordinados, el dedicado al sonido (Lazo Fonológico) y otro dedicado a la imagen (Agenda Viso-espacial), y un tercer e importante elemento (Ejecutivo Central) encargado de supervisar diferentes tareas cognitivas.

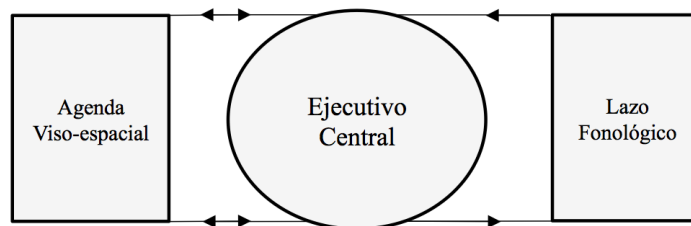


Figura 1.5. Modelo de tres componentes de Memoria de Trabajo; Baddeley y Hitch 1974 (adaptado de Baddeley, 2003).

El modelo aunque útil, ha mostrado sus limitaciones cuando se intenta explicar su relación con la Memoria a Largo Plazo, o cuando trata de aplicarse a situaciones en las que han de integrarse más tipos de información. Por ello, la mayor parte del estudio en Memoria de Trabajo se ha centrado en describir su estructura, aumentando el número de componentes del modelo y/o descomponiendo los previos. Un ejemplo de ello lo encontramos en el trabajo del mismo Baddeley. En el año 2000 amplió el modelo (ver Figura 1.6), introduciendo un almacén episódico, e indicando cuáles de los componentes eran Fluidos y cuales Cristalizados, (adaptando los conceptos propuestos por Cattell en 1963).

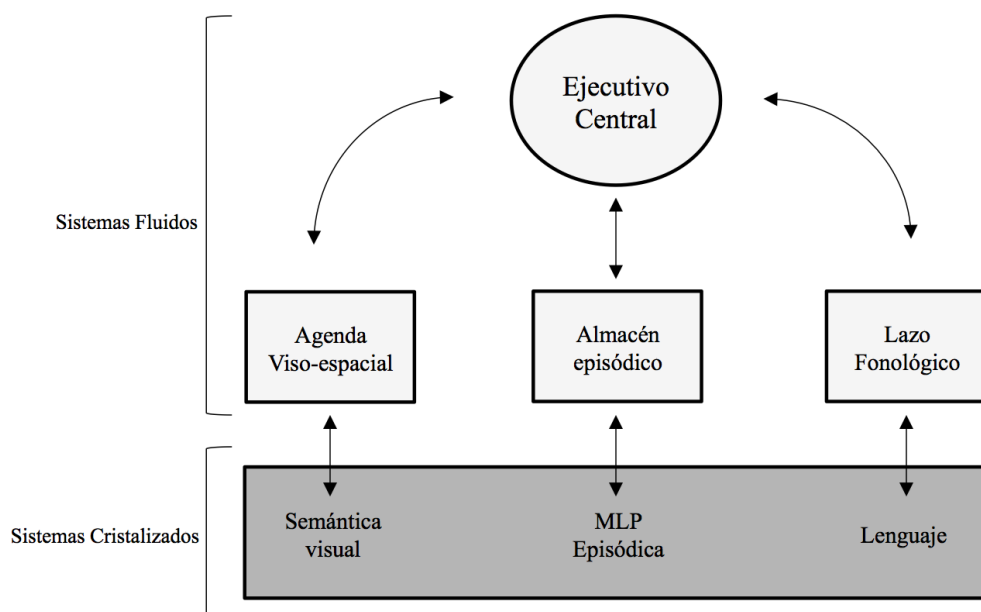


Figura 1.6. Modelo multi componente de Memoria de Trabajo; Baddeley 2000 (adaptado de Baddeley, 2003).

El componente viso-espacial de la Memoria de Trabajo recibió inicialmente menos atención que el estudio del componente fonológico. Actualmente, teniendo en cuenta los datos acumulados, se plantea la existencia de varios subsistemas, tanto de almacenamiento como de gestión o procesamiento en cada componente. La idea de un almacén visual a corto plazo, y de forma diferenciada, un equivalente verbal, es decir, una memoria intermedia audio-verbal-lingüística, fue sugerido desde el origen como parte del modelo cognitivo de la Memoria de Trabajo aunque no hubiera evidencia empírica de ello (Atkinson y Shiffrin, 1968; Baddeley y Hitch, 1974). Estas sugerencias dieron lugar durante los años 70 y 80 a un desarrollo teórico y empírico tanto del Lazo Fonológico (Phonological Loop), como de la Agenda Viso-Espacial (visuo-spatial sketchpad). Aunque actualmente los estudios de estos subsistemas de almacenamiento temporal y manipulación se centran en sus similitudes, originalmente fueron concebidos como substancialmente distintos. Primero porque el Lazo era sólo un almacén auditivo, mientras que la Agenda era por partida doble, almacén temporal viso-espacial y responsable de la generación y manipulación de imágenes (Pearson, 2001).

Las primeras investigaciones hicieron concluir a Baddeley y Lieberman (1980) que la naturaleza de la Agenda era más espacial (localizaciones) que visual, independientemente de que además existiera otro almacén visual (color, brillo, formas, etc). Posteriormente, el desarrollo de la Memoria de Trabajo Viso-Espacial ha tenido dos fuentes, a) una basada en el estudio del almacén a corto plazo de información viso-espacial (mediante el uso de tareas como Corsi Blocks y Matrix Span), y b) otra basada en el análisis de cómo generar y mantener imágenes (tareas como Brooks matrix o Imagery Mnemonics).

Finalmente, Pearson (2001) desarrolló la conceptualización de la Agenda Viso-espacial definiendo otras tres partes definidas e interdependientes. Por un lado, un sistema pasivo de

almacenaje visual (Visual Cache), otro de experiencia consciente de la imagen (Visual Buffer), y un tercero encargado de las transformaciones mentales visuales (Inner Scribe). El primero mantiene y actualiza la información mientras que los otros dos operan con ella en función de las necesidades (p. ej. en la percepción del movimiento). En este punto vemos cómo de nuevo la teoría necesita conceptualizar los componentes visual y espacial de forma separada aunque como elementos relacionados. En general, Logie (1995) acaba describiendo la arquitectura de la Memoria de Trabajo como un Ejecutivo Central con diferentes almacenes de memoria. Otros trabajos, sin embargo, han apoyado la naturaleza unitaria de la Memoria de Trabajo (Colom y Shih, 2004).

Resumiendo, son necesarios más estudios que continúen definiendo el modelo de Memoria de Trabajo y en los que además se especifiquen las funciones de sus sistemas (dónde y cómo). ¿Dónde se sitúan muchos procesos cognitivos en relación a los diferentes componentes de la Memoria de Trabajo? Por ejemplo, si las tareas visuales y necesariamente las espaciales por ser dinámicas, al implicar movimiento, requieren almacenar, seguir y actualizar información visual, es lógico que la Memoria de Trabajo esté fuertemente relacionada con estas aptitudes (Colom, Flores-Mendoza, Quiroga y Privado, 2005; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, Minkoff, 2002; Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, Engle, 2005; Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne, Engle, 2004; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, y Hegarty, 2001). Estudios clásicos ya habían mostrado que la huella visual se desvanece, es decir, que una imagen puede ser almacenada brevemente en un lugar de rápido deterioro (Averbach y Coriell, 1961). Y más recientemente, Shah y Miyake (1996) y Miyake, Friedman, Rettinger, Shah y Hegarty (2001), examinaron las relaciones entre la Memoria de Trabajo viso-espacial, el Control

Ejecutivo (CE) y la aptitud espacial (Gv). Los resultados describieron relaciones entre los factores evaluados de la aptitud espacial y el CE (Vz .91, SR .83 y P .43).

Sin embargo, se puede especificar más. No todos los componentes de la Memoria de Trabajo han de estar igual de relacionados con las medidas espaciales. Los estudios experimentales o correlacionales continuarán indicándonos qué partes del modelo se relacionan más o están más implicadas en un determinado proceso cognitivo espacial. Algunos procesos cognitivos, como por ejemplo la Rotación Mental, son claves para el estudio del dónde y cómo de la Memoria de Trabajo.

1.6. Grandes tamaños de efecto entre sexos

El estudio de las diferencias entre sexos es una fuente de estudios inagotable, y la investigación de las habilidades viso-espaciales es un claro ejemplo de ello. Bien porque se han encontrado los mayores tamaños de efecto publicados en Psicología (Halpern, 2000; Halpern y Collaer, 2005), o bien porque al igual que con los estudios de inteligencia y razas (Herrnstein y Murray, 1994) se genera un especial clima de debate social.

Estas diferencias han sido ampliamente replicadas tanto en diferentes tipos de test, como con diferentes medidas de rendimiento viso-espacial. La conclusión general es que los hombres muestran un rendimiento promedio superior al de las mujeres. Este caso es el representado en la Figura 1.7. (A y B). Esta diferencia indica que hay más hombres por encima de la media, pero no que no haya mujeres por encima de este promedio o que posean niveles altos de aptitud (Halpern y Collaer, 2005).

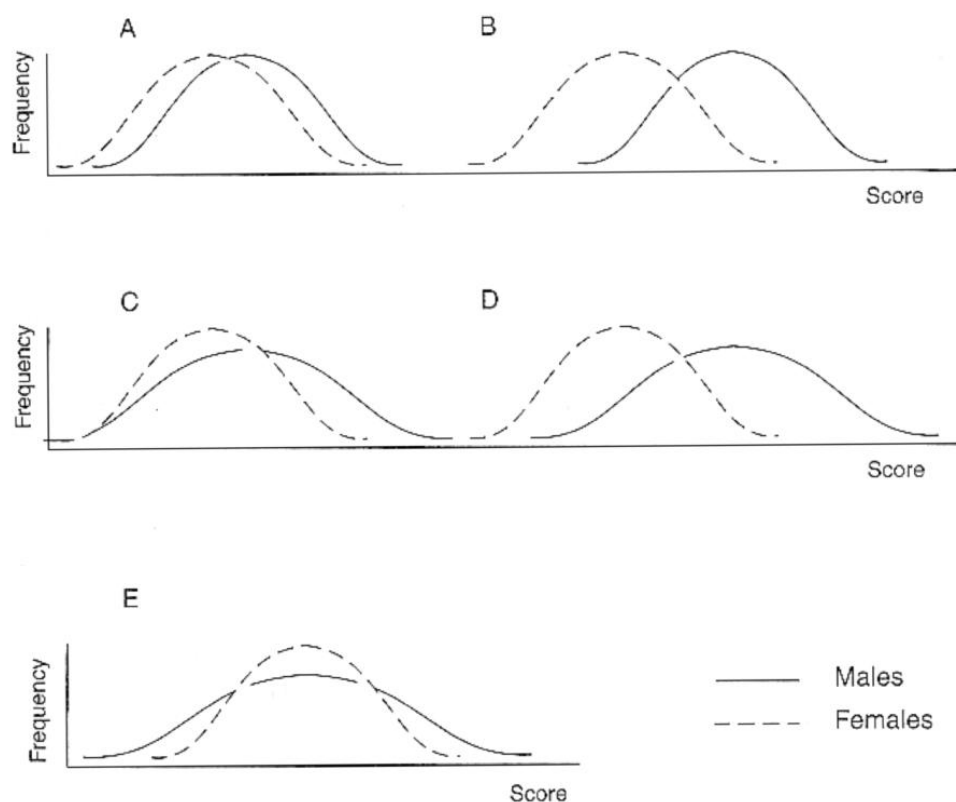


Figura 1.7. Representación gráfica de dos poblaciones difiriendo en sus distribuciones. (Halpern y Coaller, 2005). En A y B las puntuaciones de los hombres son en promedio, mayores que las de las mujeres. En C y D se muestran las mismas diferencias de medias, aunque en este caso los hombres muestran mayor variabilidad. Y en D, se muestra una situación sin diferencia de medias, pero donde los hombres son más variables.

Pero ¿cuál es la razón de estas diferencias? Aunque los resultados son claros y fáciles de replicar, se siguen desconociendo las claves explicativas de este fenómeno. Una variable dicotómica como el sexo no ofrece una explicación psicológica de estas diferencias entre grupos. Procesos básicos, estrategias, efecto de la práctica, factores de rendimiento, exposición hormonal o estructuras neuronales, han sido propuestas como posibles variables que explicarían el dónde o el cómo de esas diferencias entre sexos.

La teoría evolucionista de cazadores-recolectores ha tomado fuerza en los últimos años (Silverman, Choi y Peters, 2007; Silverman y Eals, 1992). Esta teoría defiende que las diferencias en tareas viso-espaciales pueden ser explicadas según la distribución del trabajo que los humanos tenían durante la época geológica del Pleistoceno (desde 2,59 millones de años, hasta 12.000 años AP). Los hombres principalmente cazaban, desplazándose varios días y/o recorriendo largas distancias, mientras que las mujeres, recolectaban alimentos de origen vegetal en localizaciones más estables. En este sentido, la especie humana en el proceso de selección natural, evolucionaría hacia una mejor capacidad viso-espacial en el caso de los hombres, pero no en el de las mujeres. Estos autores han encontrado un apoyo parcial de esta teoría en la universalidad de las diferencias mencionadas con datos en 40 países. El hecho de que el apoyo empírico a la teoría no sea total, puede deberse a la asunción de uno de los supuestos de la teoría. La teoría asume que las diferencias son cualitativas entre los sexos, (capacidad viso-espacial, en el hombre si, en la mujer no), en lugar de hipotetizar niveles de habilidad cuantitativamente diferentes. Se necesitan por tanto nuevos modelos explicativos que nos ayuden a entender mejor las aptitudes humanas a través de estas diferencias.

Peña, Contreras, Shih y Santacreu (2008), analizaron las diferentes estrategias al resolver una prueba espacial dinámica mediante variables de ejecución para explicar las diferencias entre sexos. La latencia, frecuencia y tiempo de respuesta junto con la proporción general de respuestas reductoras de desviación, describieron diferentes patrones o estrategias para resolver la tarea entre individuos de distinto sexo (Segmentaria Dependiente de Feedback vs. Holística Planificada). Paradójicamente, la estrategia Segmentaria se caracteriza por latencias de respuesta menores aunque con un mayor número de pulsaciones y tiempo total, mientras que la Holística Planificada, se describe por latencias de respuesta mayores, pero

menores frecuencias de respuesta y tiempos totales invertidos. Además el rendimiento de la estrategia Holística es mejor (menos distancia y desviación) que el de la estrategia Segmentaria. Estos resultados mostraron dos tendencias diferentes de respuesta. Una estrategia de mayor rendimiento (Holística) donde el participante parece dedicar un mayor procesamiento, es decir, algún proceso mental en la tarea y de ahí su mayor tiempo de respuesta, y una estrategia Segmentaria, con un rendimiento latencia de respuesta menores y una falta de eficiencia en la ejecución (al tener un mayor número de pulsaciones). La proporción de hombres y mujeres difería entre estos tipos de estrategia. Los hombres se encontraban clasificados en mayor número en la estrategia Holística, mientras que las mujeres se encontraban en mayor medida en la estrategia Segmentaria. Los participantes probablemente no estén realizando los mismos procesos o aplicando en la misma medida las mismas habilidades espaciales que los holísticos para resolver la tarea.

1.7. Dirígete al destino lo antes posible: los tests espaciales dinámicos

Sin duda, a la clasificación de las etapas del estudio de las aptitudes viso-espaciales de Eliot y Smith (1983) podríamos incluir al menos una nueva la aparición de los ordenadores y su utilización en la evaluación de aptitudes. En este sentido y como hemos señalado anteriormente, uno de los puntos clave en el rendimiento de las tareas viso-espaciales son las transformaciones mentales al exigir un esfuerzo o dificultad para alinear o comparar los elementos respecto a los

marcos de referencia; el del propio cuerpo, el del contexto o el de otros elementos (Tversky, 2005a).

Tener controlados de forma informatizada los marcos de referencia es de suma importancia para determinar la dificultad de la tarea. En general el diseño de pruebas o dispositivos espaciales tiene controlados los marcos de referencia de forma que se reducen o se simplifican los contextos, por ejemplo 2D en lugar de 3D.

El beneficio del avance técnico permite adaptarse al constructo a evaluar como mejorar la evaluación del sujeto estudiado. Las pruebas psicológicas informatizadas también han referido buenas garantías científicas (validez y fiabilidad). Las posibilidades técnicas nos permiten además, registrar más información sobre comportamiento que cuando los individuos realizan tests de lápiz y papel. Estos datos, al fin y al cabo, son los que utilizamos para estimar mejor las variables operativizadas.

La Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) es otro ejemplo de cómo adecuar los parámetros de los ítems al nivel de rasgo del sujeto que está siendo evaluado (Olea y Ponsoda, 2003; Olea, Ponsoda, y Prieto, 1999). Aquí también se podría aplicar el concepto dinámico en las pruebas de evaluación informatizadas, no sólo en la implementación de efectos como el movimiento, sino también en el cambio de otras propiedades o elementos del ítem según el participante lo está ejecutando. Las respuestas previas de los sujetos condicionan, como sucede en múltiples contextos naturales, respuestas posteriores. Pero tanto en la TRI como en la Teoría Clásica de los Tests (TCT) hay características a evaluar que se estiman mejor al ser aplicadas en un ordenador. Primero porque el diseño de los tests (incluidos los clásicos de lápiz y papel) mejoran el proceso de evaluación. Segundo porque podemos registrar todas las acciones que seamos capaces de especificar o formalizar en el entorno informatizado, por ejemplo el tiempo, el nivel de precisión

en todas las respuestas, etc. Y por último porque el procesamiento y análisis de los datos es más eficiente. Muestreos rápidos, muestras sin datos perdidos e información directamente grabada en bases de datos, son algunos aspectos que facilitan y mejoran los análisis de las propiedades métricas de los tests y permiten comprender mejor cómo actúa un sujeto haciendo una determinada tarea. Estos avances hubieran entusiasmado sin duda a Cattell y Warburton (1967) en sus estudios sobre la evaluación objetiva.

La operativización de contextos como por ejemplo una tarea viso-espacial, ofrece mayor control sobre las variables del estudio. Y así como en investigaciones de personalidad hay que evitar diferencias por variables aptitudinales, en pruebas aptitudinales también hay que evitar diferencias por variables de personalidad (Abad, 2001; Hernández, 2000). En otras palabras, controlamos mejor la unidimensionalidad de los indicadores. Es un trabajo técnico multidisciplinar el de unidimensionalizar el comportamiento psicológico a través de instrucciones, formatos, diseños y contextos informatizados. Muchos de nuestros comportamientos son multivariantes y pueden ser explicados en función de distintos constructos. Lo que podemos hacer con todo el comportamiento registrado es crear índices que cumplan determinadas características psicométricas de unidimensionalidad. En el caso de la evaluación informatizada de las aptitudes viso-espaciales, las ventajas técnicas han sido claras, tanto al poder implementar movimiento, como manteniendo los elementos de forma estática (Prieto, Carro, Orgaz y Pulido, 1993; ver Fig. 1.8).

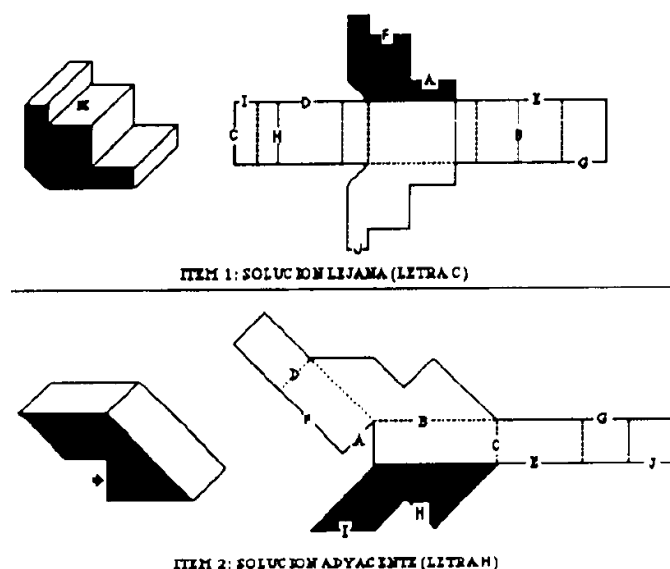
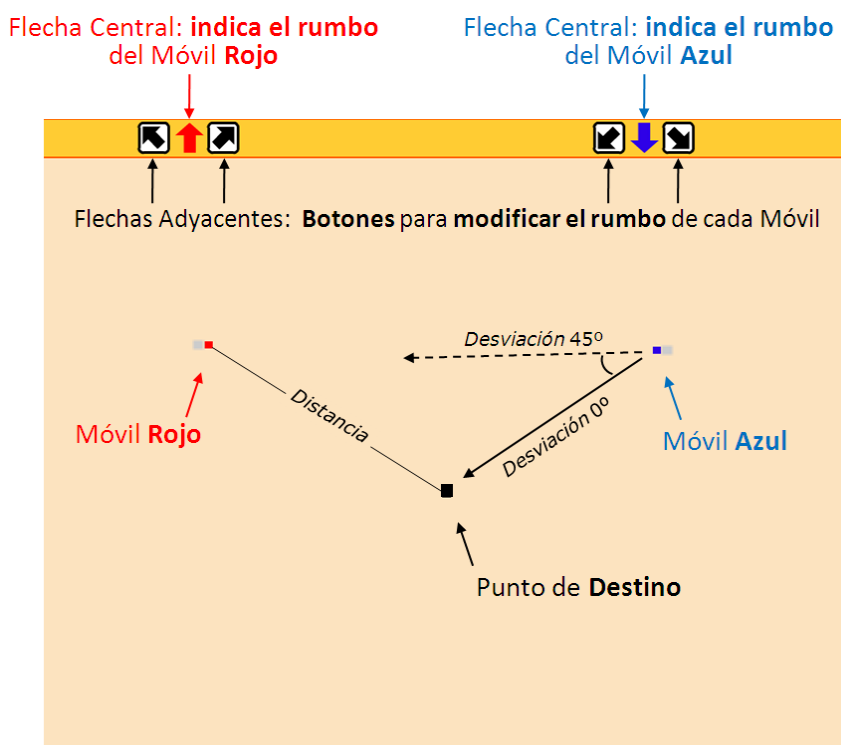


Figura 1.8. Ejemplo de un ítem informatizado de Visualización Espacial. El sujeto ha de indicar la letra que aparecería en la cara señalada con la flecha (Prieto et al., 1993).

Las pruebas viso-espaciales que incluyen movimiento se han denominado dinámicas. El SODT (Test de Orientación Espacial Dinámico), fue creado inicialmente para la evaluación del control aéreo. La versión inicial de este test vio la luz hace más de 10 años (Santacreu, 1999). Durante todos estos años y hasta la actualidad, versiones posteriores del test han mostrado ser una buena medida de la Aptitud Espacial (Colom, Contreras, Botella, y Santacreu, 2002; Colom, Contreras, Shih, y Santacreu, 2003; Santacreu, 1999). Navegar puede definirse como un movimiento coordinado y orientado dentro de un contexto (Montello, 2005). El objetivo general del SODT consiste precisamente en *dirigir el rumbo de dos objetos móviles que se desplazan a una determinada velocidad hacia un destino lo antes posible*. Las propiedades de los ítems dinámicos se modifican con el paso del tiempo.

Este tipo de pruebas han posibilitado la evaluación de la Aptitud Espacial Dinámica al poder presentar estímulos en movimiento. En este sentido el SODT y sus versiones posteriores revisadas, son un claro ejemplo del rápido desarrollo de pruebas de evaluación informatizadas.

En todas las versiones del SODT, los objetos móviles se manipulan mediante un *panel de control* situado en la parte superior de la pantalla (ver Fig. 1.9). Cada objeto móvil posee su propio panel y son claramente identificables por sus colores diferentes. Una flecha de color (rojo o azul normalmente) está situada en el centro del panel de control e indica el rumbo actual del correspondiente móvil. Las flechas negras adyacentes a la central, sirven en cambio, para modificar dicho rumbo hacia la derecha o hacia la izquierda. El objetivo de la prueba es llevar cada móvil hacia el punto de destino lo antes posible.



$$D = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \text{grados} \quad DE = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Figura 1.9. Índices del SODT-R.

Las últimas versiones del SODT mostraron índices de consistencia interna (Alpha de Cronbach) entre .850 a .945 en diferentes estudios (Colom, Contreras, Shih, y Santacreu, 2003;

Peña, Contreras, Shih, Santacreu, 2008).

Desde su primera versión, el SODT ha desarrollado entre otras medidas, dos indicadores principales para estimar el rendimiento viso-espacial general de forma dinámica. El primer indicador de la prueba es el de Desviación (D). El indicador expresa los grados de desviación del rumbo del móvil respecto del destino. Además se calcula un segundo indicador, la Distancia Euclídea (DE), es decir, la distancia en píxeles entre el móvil y el destino al finalizar el ensayo.

Los participantes han de orientar bien los móviles desde el comienzo del ensayo y mantener esa orientación hasta el final. De esa manera registrarán las menores distancias y desviaciones respecto del destino lo que constituye una alta puntuación en el test. Los indicadores de fiabilidad reportados hasta el momento (alfa de Cronbach) del SODT-R son similares, .850, .936 y .945 (Colom, Contreras, Shih, y Santacreu, 2003; Peña, Contreras, Shih y Santacreu, 2008). Será objetivo de este trabajo también desarrollar nuevos indicadores que mejoren las características de esta prueba.

CAPÍTULO II: *Estudios empíricos*

En el Capítulo I definíamos las aptitudes viso-espaciales como una serie de capacidades mentales que las personas realizan sobre las imágenes. Su estudio ha dado lugar a un marco teórico de factores y procesos. También ha dado lugar a la ambigua utilización de algunos términos: “visual-espacial, estático-dinámico, pasivo-activo”. Los primeros hacen referencia a “*qué se representa*”, los segundos a “*cómo se representa*” y los dos últimos a “*cómo se procesa*”. Especial atención referíamos al concepto dinámico desde un punto de vista psicológico, es decir, a cuando percibimos que las propiedades de una imagen en este caso, cambian en el tiempo.

A su vez, la Memoria de Trabajo explica parte de la inteligencia viso-espacial. El estudio de la Memoria de Trabajo y de sus componentes viso-espaciales ha contribuido al entendimiento de cómo ésta trata las imágenes mentales.

Las conocidas diferencias entre sexos en el rendimiento viso-espacial han mostrado los mayores tamaños de efecto publicados en la historia de la Psicología. Los hombres muestran un rendimiento promedio superior al de las mujeres indicando que hay más hombres por encima de la media, pero no que no haya mujeres también en niveles altos de aptitud.

Actualmente los tests informatizados son capaces de registrar más variables y con mayor precisión que los tests de lápiz y papel. Las pruebas viso-espaciales que incluyen movimiento se han denominado dinámicas. Los indicadores del SODT (Test de Orientación Espacial Dinámico), han mostrado ser una buena medida de la Aptitud Espacial general.

En el Capítulo II se presentan cuatro artículos que van respondiendo a cuestiones relevantes de la aptitud viso-espacial. Estos trabajos tienen como objetivo final desarrollar y

proponer una explicación psicológica de la aptitud viso-espacial. Cada uno de estos artículos constituye un paso hacia la elaboración de un modelo que explique las diferencias de rendimiento viso-espaciales en tareas dinámicas.

- 2.1 Contreras, M.J., **Martínez-Molina, A.**, Manzanero, A., Peña, D., y Santacreu, J. (2009).
¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica? *Anales de Psicología*, 25, 351-357.
- 2.2 Colom, R., **Martínez-Molina, A.**, Shih, P.C., & Santacreu, J. (2010). Working Memory, Fluid Intelligence and Multitasking Performance. *Intelligence, A Multidisciplinary Journal*, 38, 543-551.
- 2.3 **Martínez-Molina, A.**, Shih, P.C., Contreras M.J., & Santacreu, J. (enviado). Working memory structure and mental rotation: a dynamic spatial study. *Memory & Cognition*.
- 2.4 **Martínez-Molina, A.**, Ruiz. M.A., Contreras M.J., Shih, P.C., & Santacreu, J. (enviado). Looking for a psychological explanation for the spatial performance: Testing an invariant structure model between sexes. *Journal of Applied Psychology*.

El primer artículo presentado es el resultado de la continuación del trabajo desarrollado en el equipo PSI+D de la UAM con las tareas informatizadas espaciales. En él se analiza el posible aprendizaje de las aptitudes. Una forma de aproximarse al estudio de la capacidad espacial es a través del efecto del feedback y la práctica extendida. Los resultados muestran que alguna de las características morfológicas de los ítems expuestas en el Capítulo I, en este caso a modo de feedback, influyen en la ejecución de los participantes. En este caso, el aumento de los puntos de huella de los objetos móviles fue relevante para definir la dificultad de la tarea. El

número de los puntos de rastro facilita el reconocimiento de la trayectoria del objeto hacia el destino, es decir, su orientación. Aumentando el feedback inicial se mejoraba el rendimiento de los participantes en diferentes tipos de ensayos (menores grados de desviación) que los sujetos que iniciaron la tarea con un feedback inicial menor.

En el segundo artículo iniciamos el estudio de las primeras relaciones entre la Memoria de Trabajo y la aptitud viso-espacial en test dinámicos. En este caso, los indicadores del test espacial dinámico son adaptados para elaborar medidas de rendimiento multitarea, es decir, de hacer y gestionar varias tareas al mismo tiempo. Los resultados muestran que dos predictores importantes, tanto la Inteligencia fluida como la Memoria de Trabajo, están relacionados con los indicadores viso-espaciales. También se valida con dos conjuntos de datos independientes que la Memoria de Trabajo es mejor predictor que la Inteligencia de este rendimiento viso-espacial. Y finalmente, que tanto el indicador de procesamiento como el de almacenamiento de la Memoria de trabajo predicen de igual manera el rendimiento de las diferentes versiones del SODT.

El tercer artículo continúa con el desarrollo de indicadores viso-espaciales en pruebas dinámicas. En este trabajo se propone teóricamente y se justifica de forma empírica un proceso cognitivo clave para explicar el rendimiento de la tarea espacial dinámica. La Rotación Mental puede estar relacionada sólo con el almacenamiento visual pasivo y/o también puede requerir un procesamiento visual activo. Los resultados mostraron que la rotación mental tiene una relación diferencial con dos pruebas de Memoria de Trabajo, una espacial y otra numérica (no espacial). Además las puntuaciones de almacenamiento y procesamiento de la Memoria de Trabajo muestran también esa relación diferencial. Es el almacenamiento visual pero no el procesamiento ejecutivo lo que se relaciona con la Rotación Mental de la prueba espacial dinámica. Estos resultados proporcionan un apoyo parcial sobre la teoría del dominio específico de

almacenamiento de la Memoria de Trabajo viso-espacial y de la existencia de un componente específico para la manipulación visual, en concreto para la Rotación Mental. Además, de acuerdo con los resultados, la Rotación Mental es un buen indicador del comportamiento dinámico general la orientación espacial.

En el cuarto y último artículo se presenta un modelo formalizado que integra el trabajo previo desarrollado con el objetivo de formalizar una explicación psicológica de las tareas viso-espaciales dinámicas. Se propone evaluar de forma conjunta tres factores viso-espaciales con una única prueba espacial dinámica (Orientación, Rotación Mental y Planificación). El objetivo principal es comprobar el valor predictivo de estos tres factores junto con la variable sexo.

¿Por qué la variable sexo?

En primer lugar, porque el estudio de las diferencias individuales entre las que se encuentra el sexo, nos ayuda a construir nuevas teorías. En segundo lugar, dado que tenemos un conjunto de factores y procesos que explican el rendimiento en las tareas viso-espaciales dinámicas, el modelo debería ser válido independientemente de la variable sexo. La explicación desarrollada ha de ser igualmente válida entre hombres y mujeres.

Hasta el momento, la clasificación nominal de la variable sexo ha descrito los mayores tamaños de efecto publicados en Psicología apoyando un rendimiento promedio mayor en los hombres. Esta diferencia indica un menor número de mujeres en niveles altos de aptitud viso-espacial, pero no que no puedan rendir a esos niveles o que las diferencias se mantengan entre otros parámetros. En el trabajo presentado se compara entre sexos, además de las medias, otros parámetros (varianzas, covarianzas, pesos de regresión y/o varianzas de los errores). Los resultados continúan mostrando grandes tamaños de efecto en todos los indicadores, sin embargo, la variable sexo tiene un valor predictivo reducido. El mismo modelo de rendimiento

espacial compuesto por las tres variables viso-espaciales explica una alta cantidad de varianza del factor espacial incluso cuando la mayor parte de sus parámetros estructurales eran restringidos para ser iguales entre hombres y mujeres.

2.1. Contreras, M.J., **Martínez-Molina, A.**, Manzanero, A., Peña, D., y Santacreu, J. (2009).

¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica? *Anales de Psicología*, 25, 351-357.

¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica?

María José Contreras¹, Agustín Martínez-Molina², Antonio Manzanero³, Daniel Peña⁴ y José Santacreu^{2*}

¹Universidad Nacional de Educación a Distancia (Madrid)

²Universidad Autónoma de Madrid

³Universidad Complutense de Madrid

⁴Psicólogos SM (Madrid)

Resumen: ¿Pueden aprenderse las aptitudes? Aunque existe cierto consenso para aceptar que pueden producirse algunas ganancias, hay poco acuerdo sobre cómo se consiguen tales mejoras en las aptitudes (Lohman y Nichols, 1990). Una forma de aproximarse al problema en la capacidad espacial, ha sido mediante el análisis del efecto de la práctica y el *feedback*. El objetivo del presente trabajo consistió en analizar el efecto de la práctica y de la información sobre el rastro dejado por un estímulo móvil (*feedback*) en la capacidad para orientar objetos en movimiento. En un primer experimento, 42 sujetos completaron dos tareas dinámicas (SODT-R y SDT 2.0), consistentes en dirigir la trayectoria de dos objetos móviles para que lleguen sin desviación a un punto de destino, con tres niveles de rastro y 9 ó 18 ensayos. En un segundo experimento, 52 sujetos completaron el SDT 2.0, con tres niveles de rastro y 12, 24 ó 36 ensayos. Los resultados mostraron que cuanto mayor es la práctica y mayor es la información sobre la trayectoria de los móviles, mejor es el rendimiento. Se discuten las implicaciones de estos resultados en el marco de la teoría basada en los procesos y el aprendizaje de las capacidades humanas.

Palabras clave: Aptitud Espacial; tareas espaciales dinámicas; aprendizaje; efecto de la práctica; *feedback*.

Title: Does spatial performance improve by practice effects?

Abstract: Can the abilities be learning? Although there is some consensus that abilities are developed, there is little consensus on how this development might occur (Lohman & Nichols, 1990). One approach in spatial ability has been the study of *feedback* and practice effects. The aim of the present study was to analyse these effects on dynamic spatial ability. 42 subjects completed two dynamic tasks (SODT-R and SDT 2.0) during the first experiment. Both tasks consisted of to guide two moving dots toward a destination, manipulating three levels of traces (*feedback*) and the number of trials (practice; 9 vs.18). In the second experiment, 52 subjects did the same task with SDT 2.0 procedure, also manipulating three levels of traces and the number of trials (12 vs. 24 vs. 36). Data showed level of traces and practice influenced dynamic spatial ability. Subject's performance was better when more *feedback* traces were given and when more trials were done. We discuss theoretical implications based on the human learning and capacity processes.

Key words: Spatial ability; dynamic spatial tasks; learning; practice effect; *feedback*.

Introducción

El estudio experimental de las *estrategias* utilizadas en la ejecución de una tarea y el análisis del efecto de la *práctica* y el *feedback*, han sido objeto de análisis para muchos investigadores de la aptitud espacial (Fischer, Hickey, Pellegrino y Law, 1994; Glück, Dünser, Steinbügl y Kaufmann, 2007; Glück, Machat, Jirasko y Rollett, 2002; Kass, Ahlers y Dugger, 1998; Kyllonen, Lohman y Snow, 1984; Lohman y Nichols, 1990; Peña, Contreras, Shih y Santacreu, 2008).

Algunos de estos estudios previos han analizado la *difficultad de los ítems* de tests impresos, como la rotación o el plegado de papel (Kyllonen *et al.*, 1984; Lohman y Nichols, 1990). Kyllonen *et al.* (1984) analizaron el efecto que algunas características de los ítems tenían sobre la ejecución, como el número de pliegues o las características de simetría o asimetría de los pliegues. Los resultados mostraron que este tipo de variables explicaban la mayor o menor dificultad de los ítems y, por lo tanto, afectaban al rendimiento.

Práctica, *feedback* y rendimiento en tareas espaciales

Otros estudios han demostrado que la *práctica* (sin *feedback*) favorece la ejecución de tareas de rotación. Kyllonen *et al.* (1984) obtuvieron mejoras en el número de aciertos como consecuencia de la práctica. Dicha mejora era mayor en tareas de rotación rápida (p.e., Figuras), y menor en tareas de

rotación sin limitación temporal y de mayor complejidad (tareas correspondientes al factor Visualización, p.e., tareas de plegado de papel). Junto a la mejora en el número de respuestas correctas, estos autores encontraron un incremento tanto en el número de ítems que los participantes trataban de responder, como en el número de errores cometidos. En la tarea de rotación compleja, la mejora en el número de aciertos podía explicarse en gran medida por el número de ítems intentados, ya que en estos casos la proporción de aciertos era la misma que antes de la práctica.

Lohman (1988; Lohman y Nichols, 1990) concluyeron que tras la práctica en tareas de rotación complejas, los participantes responden más y más rápido, pero sin incrementar su precisión. Regian y Pellegrino (1984) encontraron resultados similares; tras la práctica se producía una reducción en el tiempo general de respuesta, pero no en la tasa de rotación. Estos datos indican que, como consecuencia de la práctica extendida, puede estar mejorando la ejecución procedimental de la tarea pero sin aumentar la eficacia o eficiencia.

En definitiva, estos resultados demuestran que la mera repetición de la tarea (sin *feedback* o reforzamiento) no produce aprendizaje. Por otro lado, sabemos que las tareas complejas (como sumar o multiplicar) se aprenden enseñando estrategias de resolución y no sólo fomentando su práctica extendida.

En cuanto al efecto de la *práctica con feedback*, el conocimiento del tiempo, de la adecuación de la respuesta y de la re-presentación de los ítems errados, produce reducciones en la latencia de los participantes con bajo rendimiento previo en la tarea, así como un incremento en la correlación entre la precisión y los niveles de aptitud espacial al inicio de

* Dirección para correspondencia [Correspondence address]: José Santacreu. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Cantoblanco (Madrid, España). Email: jose.santacreu@uam.es

la práctica. En los sujetos de alta aptitud espacial y verbal, se producen importantes reducciones en el número de errores (Lohman, 1988; Lohman y Nichols, 1990). En general, el *feedback* parece mejorar la capacidad para atender a la orientación de los estímulos de la prueba.

En lo que se refiere a los efectos de la práctica sobre el rendimiento espacial dinámico, distintas investigaciones parecen apoyar la existencia de ganancias sistemáticas debidas a distintos tipos de práctica. Law, Pellegrino, Mitchell y Fischer (1993; experimento 2) analizaron el efecto del *feedback* en una tarea de tiempo de llegada en la que se realizan juicios sobre la velocidad de objetos que deben llegar a un destino. Los participantes recibían un mensaje de “correcto” tras la ejecución adecuada o un mensaje de “incorrecto” e información adicional sobre las relaciones entre los móviles en caso contrario. El *feedback* mejoraba el rendimiento, incrementando la sensibilidad a la velocidad relativa (cuando cada objeto lleva una velocidad y el nivel de dificultad se establece en función de la diferencia de velocidad entre los objetos).

Fischer et al. (1994), también utilizando una tarea de tiempos de llegada, analizaron el efecto de la práctica con diferentes tipos de *feedback* o sin él. Los resultados indicaban que la práctica sin *feedback* no produce mejoras en el rendimiento. En cuanto a los tipos de *feedback*, la inclusión de *feedback* visual no supuso ventajas significativas con respecto al *feedback* verbal (experimento 3). Los autores concluyeron que la práctica con *feedback* producía mejoras en el rendimiento espacial dinámico, con independencia del tipo de *feedback* que se utilice.

Por último, Sacuzzo, Craig, Johnson y Larson (1996) comprobaron que la práctica producía mejoras tanto en la velocidad de ejecución como en la precisión de las respuestas en tareas de rotación espacial dinámica (rotación de figuras en movimiento así como rotación de figuras sobre un fondo móvil). Estos autores encontraron un marcado efecto de la práctica por el cual varones y mujeres mostraban una mejora de ejecución a través de las sesiones: la ejecución en la segunda sesión fue significativamente mejor que en la primera. También encontraron un efecto de interacción por el que las mujeres mejoraron su ejecución en mayor medida que los varones en la tarea con un mayor componente de velocidad, siendo capaces de conseguir un rendimiento similar a los varones en la segunda sesión. Este resultado indicó el potencial del entrenamiento para reducir las diferencias entre sexos en tareas espaciales dinámicas.

En resumen, hay estudios que apoyan que la *práctica con feedback* produce mejoras en el rendimiento espacial. Varios factores parecen afectar a las diferencias cualitativas y cuantitativas producidas por la práctica. En primer lugar los niveles del sujeto en las aptitudes implicadas en la tarea condicionan el tipo de entrenamiento más indicado. Por otra parte, el *feedback* sobre al menos un componente de la ejecución potencia el efecto de la práctica *per se*, independientemente de cómo se presente (*feedback* verbal o visual).

Objetivos e hipótesis

Partiendo de los resultados expuestos, el objetivo principal del presente trabajo fue analizar el efecto del *feedback* visual en el Test de Orientación Espacial Dinámico-Revisado (Spatial Orientation Dynamic Test-Revised, SODT-R, Colom, Contreras, Shih y Santacreu, 2003) y de la nueva versión SDT 2.0 (Santacreu, 2004). Para ello, se diseñaron dos estudios en los que se analizó el efecto controlado de la práctica y del *feedback*. La tarea del test SODT-R consiste en manipular la trayectoria de dos objetos móviles para que lleguen sin desviación a un punto de destino. Para manipular la trayectoria se dispone de dos botones por cada uno de los móviles, como se representa en la Figura 1. La pulsación sobre los botones modifica la trayectoria del móvil en una dirección, reduciendo o ampliando la discrepancia angular entre dicha trayectoria con respecto a la trayectoria ideal cuya desviación es 0.

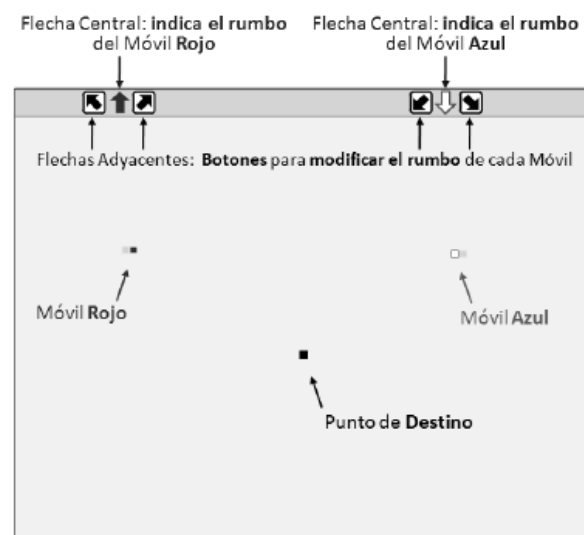


Figura 1: Ejemplo de ensayo del test SODT-R.

En su versión estándar los móviles dejan una huella de un punto. La tarea de orientación del móvil a su destino resultaría más fácil con el aumento del número de puntos de huella (*feedback*) porque la trayectoria se hace más evidente cuanto mayor es el rastro que el móvil deja al avanzar.

Las hipótesis de trabajo, por tanto, son: 1) si se configuran distintas condiciones de aplicación de la tarea de orientación espacial dinámica en las que la variable independiente es el número de puntos de rastro de los móviles, la desviación de llegada (variable dependiente) será menor en aquellas condiciones donde el *feedback* sea mayor, y 2) si aumentamos el número de ensayos en la tarea (más práctica) mejorará el rendimiento y más aún si se potencia con *feedback*. A continuación se presentan dos estudios en los que se manipuló la configuración de la tarea (número de puntos de rastro, y número de ensayos), con el objetivo de

analizar el efecto del *feedback* visual y de la práctica extendida en la ejecución de las tareas dinámicas SODT-R y SDT 2.0.

Estudio 1

Método

Participantes

En el estudio participaron 42 estudiantes de la titulación de Psicología. El rango de edad estuvo entre 19 y 52 años, con una media de edad de 22.56 años, moda de 22 años y desviación típica de 7.30 años. En el estudio participaron 38 mujeres (90.5 %) y 4 varones (9.5 %).

Medidas y procedimiento

Todos los participantes completaron dos versiones de la tarea, el SODT-R y el SDT 2.0. Se formaron tres grupos de 14 personas que completaron dos tareas de 9 ensayos cada una (18 ensayos total). Cada grupo comenzó con diferentes grados de *feedback* visual en la primera tarea a completar. Un primer grupo completó la primera tarea sin ningún punto de huella, el segundo con un punto de huella y el tercer grupo con tres puntos de huella. Los tres grupos completaban en segundo lugar, el SDT 2.0 con un solo punto de huella.

El SDT 2.0 es la nueva versión del SODT-R. Ambas versiones comparten el mismo aspecto gráfico aunque la nueva ha sido diseñada para aumentar las condiciones de configuración de ítems. A continuación se presenta una descripción de la tarea SODT-R (Colom *et al.*, 2003) y del programa informático que controla los móviles y registra los datos. En la Figura 1 se muestra una pantalla de un ensayo en la que los dos puntos móviles, de distinto color, aparecen en una posición y avanzan con un determinado rumbo a velocidad constante. En la pantalla se pueden ver los dos puntos y sus respectivas huellas. La huella es un punto de color gris que indica dónde estaba el punto en el momento anterior y ayuda al participante a estimar el rumbo actual del objeto.

La Figura 2 muestra un ejemplo de los distintos tipos de *feedback* configurados; puede comprobarse cómo a mayor número de puntos de rastro del móvil, más fácil es visualizar su trayectoria.

El programa fija una posición de origen y un rumbo del objeto que se puede modificar con las flechas de dirección. Si no se modifica la dirección, el objeto avanza por la pantalla de acuerdo con el rumbo especificado en la configuración e incluso podría salirse de la pantalla. Puede hacerse que gire a derecha o a izquierda pulsando las flechas de dirección. Pulsando repetidamente sobre una de las flechas de dirección se modifica el rumbo del objeto a razón de 10° con cada click. Cada vez que se pulsa, cambia la dirección del objeto, continuando en la nueva trayectoria hasta que se

pulsa otra vez. Dado que la posición del destino y la posición de los objetos móviles son distintas en cada ensayo, para hacer correctamente la tarea hay que fijarse en el color y sentido de las flechas centrales en relación a los objetos en movimiento.



Figura 2: Ejemplo de diferencias en *feedback* según los puntos de huella de los móviles en la tarea SODT 2.0.

La primera tarea que tiene que hacer el participante es detectar sobre qué flecha de dirección hay que pulsar repetidamente para modificar el rumbo de cada uno de los objetos que se mueven a la misma velocidad. La velocidad de los móviles es constante. Si no se corrige la trayectoria pulsando las flechas de dirección, los móviles siguen su rumbo original, alejándose del destino.

La tarea de cambiar la dirección de los móviles para que se dirijan al destino tiene un tiempo limitado aunque suficiente de 21 segundos. Es importante que los participantes distribuyan bien su tiempo y corrijan la trayectoria de los dos objetos puesto que, en caso contrario, uno de ellos al final del ensayo mantendría su trayectoria original (más de 90 grados de desviación) mientras que el otro podría estar correctamente orientado hacia el destino.

Al finalizar el ensayo, el programa registra la posición de los objetos en la pantalla y su rumbo. La posición viene determinada por los valores de las coordenadas "x, y" en la pantalla y el rumbo es un valor entre 0° y 359° como el que indican las brújulas. El programa calcula, dada una posición del objeto al final del ensayo, cuál sería el rumbo que debería tener para llegar al destino: el rumbo o trayectoria correcta. Después calcula la diferencia entre el rumbo que tiene cada uno de los objetos en el instante en que termina el ensayo y lo compara con el rumbo correcto. Dicha diferencia expresada en grados en valor absoluto, es la puntuación de Desviación que usamos como índice de la tarea de orientación en nuestro análisis de datos.

Resultados y discusión

La Tabla 1 recoge los descriptivos de media y desviación típica obtenidos por cada grupo de *feedback* en las dos tareas aplicadas. La Figura 3 muestra gráficamente las medias obtenidas en la variable desviación de los tres grupos según el *feedback* aplicado en la primera tarea (0, 1 ó 3 puntos de *feedback*) y las medias en la segunda tarea (todos con un punto de *feedback*). Puede observarse que la ejecución de la primera tarea tiene relación con el *feedback* administrado, siendo peor la ejecución en el grupo sin puntos de *feedback*, seguido por el grupo con un punto de *feedback* y la mejor ejecución la obtiene el grupo con mayor número de puntos de rastro. Por tanto, se cumple la primera hipótesis por la que la desviación del destino es menor en aquellas condiciones donde el número de puntos es mayor. El análisis de varianza de un factor indica que en la primera tarea, el grupo 3 de mayor *feedback*, registró una desviación media comparativamente menor al grupo sin *feedback*, $F(2, 39) = 6.79$, $p = .00$. Sin embargo, en la segunda tarea cuando se igualaron los puntos de rastro, aunque se mantuvieron las diferencias entre grupos, estas no fueron significativas, $F(2, 39) = 2.77$, $p = .08$. En cuanto a la ejecución en la segunda tarea, se observa que el único grupo que mejora significativamente es el grupo 1, que pasa de no tener *feedback* a tenerlo (0 puntos de huella en la primera tarea y 1 punto en la segunda tarea). Pese a ello, este grupo con un peor *feedback* inicial no llega a mejorar tanto como para alcanzar el nivel de los grupos que comenzaron con una tarea en la que se administraba algún tipo de *feedback*. El grupo 2, con el mismo nivel de *feedback* en ambas tareas (un punto) no mejora significativamente la ejecución por el mero efecto de la práctica extendida. Por

último, el grupo 3, que pasa de tres puntos de huella a uno solo, también mantiene su ejecución en el mismo nivel que consiguió en la primera tarea. Un nivel alto de *feedback* inicial (tres puntos de huella) es suficiente para tener el mejor nivel de ejecución y mantenerlo sin empeorar cuando disminuye el *feedback* en un momento posterior.

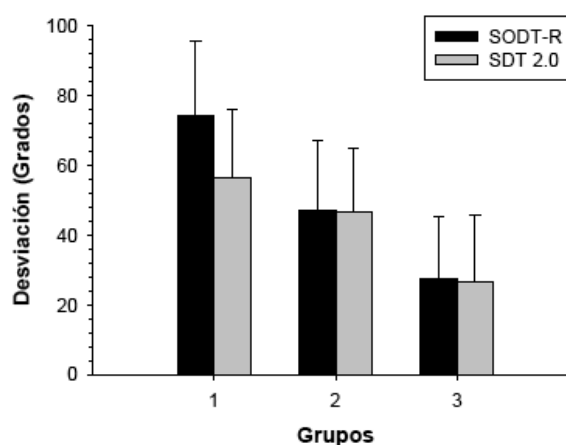


Figura 3: Ejecución media de los tres grupos en las dos aplicaciones del SODT-R realizadas en el estudio 1. Grupo 1: SODT-R, sin huella → SODT 2.0, 1 punto de huella. Grupo 2: SODT-R, 1 punto de huella → SODT 2.0, 1 punto de huella; Grupo 3: SODT-R, 3 puntos de huella → SODT 2.0, 1 punto de huella. Las barras de error muestran los intervalos de confianza para las medias

Tabla 1: Descriptivos en el índice de Desviación en cada grupo de *feedback* y tarea aplicados en el primer estudio.

Estudio 1	1ª TAREA SODT-R					2ª TAREA SODT 2.0				
	N	Feedback	Ensayos	\bar{X}	DT	Feedback	Ensayos	\bar{X}	DT	
Grupo 1	14	0	9	74.13	37.14	1	9	56.61	34.05	
Grupo 2	14	1	9	47.24	34.11	1	9	46.55	32.15	
Grupo 3	14	3	9	26.73	30.89	1	9	27.68	32.81	
Total	42		9				9 + 9 = 18			

La correlación entre la primera y la segunda tarea fue de .88, $p < .00$ (por grupos, $r_{\text{GRUPO 0}} = .84$, $p < .00$; $r_{\text{GRUPO 1}} = .85$, $p < .00$; $r_{\text{GRUPO 3}} = .95$, $p < .00$) y la consistencia interna medida por el estadístico alfa de Cronbach fue de .961 en la primera tarea y .953 en la segunda tarea administrada. Estos valores demuestran que la nueva versión del SODT 2.0 tiene una fiabilidad casi idéntica a la obtenida por el SODT-R.

Estos resultados confirman los obtenidos en la literatura previa, en cuanto a la definición de características de los ítems que influyen en la ejecución de los participantes. En los tests espaciales impresos, como los de plegado de papel o rotación, la dificultad de un ítem tiene que ver con el número de pliegues o el número de grados con el que la Figura de prueba aparece rotada respecto a la Figura test (Kyllonen et al., 1984; Lohman & Nichols, 1990). En el caso

de la tarea que presentan los tests SODT-R y SODT 2.0, en el estudio que acabamos de presentar hemos demostrado que una característica relevante de los ítems para definir la dificultad de la tarea es el número de puntos de huella de los objetos móviles. El aumento de los puntos de rastro facilita el reconocimiento de la trayectoria del objeto hacia el destino, facilitando su orientación. A continuación presentamos un segundo estudio que pretende, por un lado, replicar los resultados del estudio preliminar y, además, analizar el efecto de la práctica aumentando el número de ensayos.

Estudio 2

A partir del estudio anterior nos preguntamos si, además de mejorar la ejecución por efecto del *feedback*, los participantes podían mejorar en parte su ejecución por el efecto de la *práctica extendida*. Para analizar este efecto, realizamos un segundo estudio donde aplicamos a los participantes una única prueba, el test SDT 2.0. Dicho test es una versión ligeramente modificada del SODT-R. La tarea es la misma que se describió extensamente en el estudio anterior pero aumentando el número de ensayos y manipulando el grado de *feedback* visual por bloques de ensayos. En este estudio se formaron dos grupos de participantes diferenciados por el grado de *feedback* visual configurado al inicio de la aplicación.

Método

Participantes

En el segundo estudio participaron 52 estudiantes de la titulación de Psicología (45 mujeres, 86.5% y 7 hombres, 13.5%). El rango de edad estuvo entre 18 y 31 años, con una media de edad de 20.23 años y desviación típica de 2.06 años.

Medidas y procedimiento

Todos los participantes completaron la misma versión de la tarea SDT 2.0. Se configuraron tres bloques de ensayos con distintas condiciones de *feedback*. El diseño en este estudio incluyó dos grupos que se diferenciaron en la condición de *feedback* al inicio de la prueba (uno comienza sin *feedback* y otro con bastante *feedback*). El grupo 1, con menor *feedback* inicial, comenzó con un bloque de 12 ensayos de 0 puntos de *feedback*, luego se aplicaron otros 12 ensayos con 1 punto de *feedback* y, para finalizar, se aplicó otro bloque de 12 ensayos con 0 puntos de *feedback*. El grupo 2, con mayor *feedback* inicial, comenzó con 12 ensayos de 3 puntos de *feedback*, luego completó otros 12 ensayos con 1 punto y, para finalizar, otros 12 ensayos con 0 *feedback*. De este modo, los dos grupos sólo se diferenciaron en el *feedback* administrado en el primer bloque de ensayos (0 puntos ó 3 puntos). Se computaron en total 36 ensayos, suficientes como para registrar el efecto de la práctica en comparación con el

primer estudio (se duplicó el número de ensayos de 18 a 36). De esta manera, se comparará el rendimiento por bloques de ensayos y entre bloques ensayos.

Resultados

La Tabla 2 recoge los descriptivos de media y desviación típica en cada bloque de ensayos para los dos grupos aplicados según el *feedback* inicial. La Figura 4, además, muestra gráficamente la ejecución de los dos grupos en cada uno de los tres bloques de ensayos. Puede observarse que el grupo con un *feedback* inicial mayor tiene mejor rendimiento en los tres bloques de ensayos (menores desviaciones) que el grupo con un *feedback* inicial menor.

Sin embargo, aunque el rendimiento es significativamente distinto en ambos grupos para el primer y segundo bloque de ensayos (t_1° Bloque: 0-3 = 3.69, $p < .00$; t_2° Bloque: 1-1 = 2.38, $p < .03$), la ejecución no es significativamente distinta en el último bloque de ensayos, donde la práctica iguala prácticamente el rendimiento entre los dos grupos (t_3° Bloque: 0-0 = 1.46, $p < .15$).

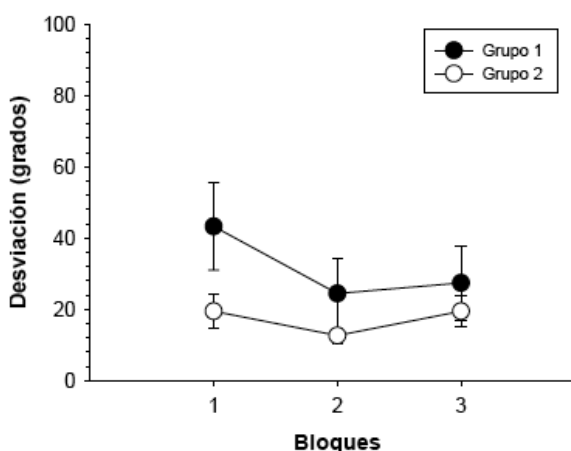


Figura 4: Ejecución media de los dos grupos en los tres bloques de ensayos del SDT 2.0 aplicados en el estudio 2. Grupo 1: sin huella → 1 punto de huella → sin huella; Grupo 2: 3 puntos de huella → 1 punto de huella; → sin huella. Las barras de error muestran los intervalos de confianza para las medias.

Tabla 2: Descriptivos en el índice de Desviación en cada grupo de *feedback* y tarea aplicados en el segundo estudio.

Estudio 2	1ª TAREA SDT 2.0					2ª TAREA SDT 2.0					3ª TAREA SDT 2.0				
	N	Feedback	Ensayos	\bar{X}	DT	Feedback	Ensayos	\bar{X}	DT	Feedback	Ensayos	\bar{X}	DT		
Grupo 1	24	0	12	43.27	31.72	1	12	24.47	25.72	0	12	27.41	26.70		
Grupo 2	28	3	12	19.45	11.71	1	12	12.64	5.12	0	12	19.45	10.20		
Total	52		12				12 + 12 = 24				24 + 12 = 36				

La correlación entre el primer y el segundo bloque fue de .76 $p < .00$ (por grupos, $r_{\text{GRUPO 1}} = .75$, $p < .00$; $r_{\text{GRUPO 2}} = .66$, $p < .00$).

Entre el primer y el tercer bloque fue de .63, $p < .00$ (por grupos, $r_{\text{GRUPO 1}} = .66$, $p < .00$; $r_{\text{GRUPO 2}} = .33$, $p < .00$).

$p < .12$, esta correlación no significativa indica la diferencia entre realizar la tarea con tres puntos de huella y sin huella – primer y tercer bloque del grupo 2 respectivamente). Y entre el segundo y tercer bloque fue de .87, $p < .00$ (por grupos, $r_{\text{GRUPO 1}} = .93$, $p < .00$; $r_{\text{GRUPO 2}} = .10$, $p < .63$). La consistencia interna (alfa de Cronbach) fue de .967 en el primer bloque, .970 en el segundo y .962 en el tercero.

Discusión general y conclusiones

Los estudios presentados en este trabajo suponen un avance en la investigación desarrollada sobre el test espacial dinámico SODT-R. En anteriores investigaciones con este test se han replicado los resultados que ponen de manifiesto las diferencias de sexo en aptitud espacial (Contreras, Colom, Shih, Álava y Santacreu, 2001); se analizó el poder mediador de las diferencias entre sexos en aptitud espacial para explicar estas mismas diferencias en una tarea de razonamiento verbal (Colom, Contreras, Arend, García-Leal y Santacreu, 2004); también se ha cuestionado que las diferencias entre grupos de sexo se expliquen exclusivamente por factores de ejecución (Contreras, Rubio, Peña, Colom y Santacreu, 2007) y finalmente se ha avanzado en la definición de las estrategias para la resolución del test (Peña et al., 2008).

Una vez más, en este estudio se han replicado los resultados obtenidos en la literatura previa utilizando otros tipos de tareas. En el apartado de introducción hemos revisado cómo otros autores han analizado las características mediadoras en la dificultad de los ítems de tareas espaciales impresas de rotación o plegado de papel (Kyllonen et al., 1984; Lohman y Nichols, 1990) así como el efecto de las estrategias y la práctica en tareas dinámicas de estimación de tiempos o rotación espacial dinámica (Fischer et al., 2004; Law et al., 1993; Law, Morrin y Pellegrino, 1995; Sacuzzo et al., 1996). Como se puso de manifiesto en anteriores trabajos, es necesario adaptar las investigaciones a las características de la nueva tarea que plantea el SODT-R (Contreras et al., 2007). Desde los trabajos iniciales sobre la aptitud espacial dinámica, tal y como la definieron Hunt y Pellegrino (1989), otros muchos autores han utilizado tareas similares a las descritas por estos autores, fundamentalmente las de estimación de tiempos de llegada. Por ello, creemos conveniente resaltar que nuestras investigaciones sobre la aptitud espacial dinámica se han desarrollado a partir de una tarea distinta (la que presenta el SODT) con la que se han ido replicando los principales resultados en cuanto a diferencias con tareas estáticas, diferencias de sexo y el papel de los factores de ejecución o las estrategias (Contreras et al., 2001, 2003, 2007; Colom et al., 2003, 2004; Peña et al., 2008). Este trabajo es un ejemplo más de las posibilidades de esta tarea, que es dinámica en su integridad. La tarea del SODT no sólo es dinámica por presentar elementos en movimiento sino porque la respuesta correcta va cambiando en función del tiempo transcurrido. A medida que el objeto avanza, la desviación respecto al destino cambia, y

cambian por tanto las pulsaciones que hay que dar sobre los paneles de dirección para reducir dicha desviación. La tarea es dinámica por el tipo de estímulos que se presentan y porque la respuesta correcta cambia en función de las respuestas previas del participante.

Dadas estas diferencias de la tarea del SODT respecto a las utilizadas en la literatura previa, el objetivo de este trabajo fue encontrar un componente relacionado con el *feedback* sobre la ejecución de la tarea que pudiera tener relación con la dificultad de la misma. Este trabajo ha demostrado que no sólo la manipulación del *feedback* sino también el efecto de la práctica influyen en el rendimiento en la tarea. El análisis de la relación de los puntos de rastro que deja el móvil al avanzar resulta ser una variable válida para manipular la dificultad de la tarea, como hemos comprobado en los dos estudios presentados. Además, este último estudio pone de manifiesto la necesidad de abordar el efecto de la práctica extendida con más detalle en futuras investigaciones y su posible relación con las diferencias de sexo y con las estrategias de solución de la tarea. La descompensación de frecuencias entre varones y mujeres participantes en ambos estudios (mayoritaria participación de mujeres) ha imposibilitado el análisis de diferencias entre sexos en los estudios presentados, pero será un objetivo abordable en investigaciones futuras. En un estudio anterior, Peña et al. (2008) demostraron que varones y mujeres diferían en la frecuencia con que utilizaban las distintas estrategias descritas para abordar la tarea del SODT-R. Los varones utilizaban con mayor frecuencia las estrategias más eficaces. Sin embargo, cuando varones y mujeres utilizaban la estrategia más eficaz, las diferencias entre sexos dejaban de ser significativas. El presente estudio demuestra que al poner más puntos de rastro en el móvil, la trayectoria se hace más evidente y la tarea de orientación del objeto en movimiento resulta más fácil. El siguiente objetivo de investigación será analizar la relación entre aprendizaje y cambio de estrategia. Quizás el efecto del *feedback* y de la práctica extendida esté mediado por el tipo de estrategia que el participante utiliza para abordar la tarea. Fischer et al. (1994; experimento 4) analizaron los efectos de la práctica con *feedback* sobre el tipo de estrategia y sus resultados sugerían que el *feedback* altera la estrategia de solución utilizada por los sujetos favoreciendo el uso de estrategias basadas en la velocidad relativa de los móviles, un aspecto central en la tarea de estimación de tiempos que estos autores utilizaron. En definitiva, el *feedback*, y de manera más amplia el aprendizaje, modificará el rendimiento si el individuo, como consecuencia de la práctica, cambia su estrategia de resolución de la tarea (Glück et al., 2002).

La pregunta clave que deberemos abordar en siguientes investigaciones es ¿ayuda el *feedback* visual a conseguir un aprendizaje relacionado con la elección de la estrategia más eficaz?

Nota. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (SEJ2007-64448/PSIC) y por el Acuerdo de Colaboración Científico-Técnico AENA-UAM/785005.

Referencias

- Colom, R., Contreras, M.J., Arend, I., García-Leal, O. & Santacreu, J. (2004). Sex differences in verbal reasoning are mediated by sex differences in spatial ability. *The Psychological Record*, 54, 365-372.
- Colom, R., Contreras, M.J., Shih, P.C. & Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability through a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19 (2), 92-100.
- Contreras, M.J., Colom, R., Hernández, J.M. & Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? *The Journal of General Psychology*, 130, 277-288.
- Contreras, M.J., Colom, R., Shih, P.C., Alava, M.J., Santacreu, J. (2001). Dynamic spatial performance: sex and educational differences. *Personality and Individual Differences*, 30, 117-126.
- Contreras, M.J., Rubio, V.J., Peña, D., Colom, R. & Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: the unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, 35, 297-303.
- Fischer, S. C., Hickey, D. T., Pellegrino, J. W. y Law, D. J. (1994). Strategic processing in dynamic spatial reasoning tasks. *Learning & Individual Differences*, 6(1), 65-105.
- Glück, J., Dünser, A., Steinbügl, K. y Kaufman, H. (2007). Warning: subtle aspects of strategy assessment may affect correlations among spatial tests. *Perceptual and Motor Skills*, 104, 123-140.
- Glück, J., Machat, R., Jirasko, M. y Rollett, B. (2002). Training-related changes in solution strategy in a spatial test: an application of item response models. *Learning and Individual Differences*, 13, 1-22.
- Hunt, E. and Pellegrino, J.W. (1985). Using Interactive Computing to expand intelligence testing: a critique and prospectus. *Intelligence*, 9, 207-236.
- Kass, S. J., Ahlers, R. H. y Dugger, M. (1998). Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Human Performance*, 11(4), 337-349.
- Kyllonen, P. C., Lohman, D. F., y Snow, R. E. (1984). Effects of aptitudes, strategy training, and task facets on spatial task performance. *Journal of Educational Psychology*, 76(1), 130-145.
- Law, D. J., Morrin, K. A. y Pellegrino, J. W. (1995). Training effects and working memory contributions to skill acquisition in a complex coordination task. *Learning & Individual Differences*, 7(3), 207-234.
- Law, D. J., Pellegrino, J. W., Mitchell, S. R. y Fischer, S. C. (1993). Perceptual and cognitive factors governing performance in comparative arrival-time judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 19(6), 1183-1199.
- Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. En R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181-248). Hillsdale, New Jersey: LEA.
- Peña, D., Contreras, M.J., Shih, P.C. & Santacreu, J. (2008). Solution Strategies as Possible Explanations of Individual and Sex Differences in a Dynamic Spatial Task. *Acta Psychologica*, 128, 1-14.
- Regian, J. W. y Pellegrino, J. (1984). *Practice and transfer on effects in two-dimensional mental rotation*. (Manuscrito no publicado). Santa Barbara, CA.: University of California.
- Sacuzzo, D. P., Craig, A. S., Johnson, N. E. y Larson, G. E. (1996). Gender differences in dynamic spatial abilities. *Personality and Individual Differences*, 21, 599-607.
- Santacreu, J. (2004). *Test espacial dinámico 2.0 (SDT 2.0)*. M-003406/2004. Universidad Autónoma de Madrid.

(Artículo recibido: 21-4-2008; aceptado: 30-3-2009)

- 2.2. Colom, R., **Martínez-Molina, A.**, Shih, P.C., & Santacreu, J. (2010). Working Memory, Fluid Intelligence and Multitasking Performance. *Intelligence, A Multidisciplinary Journal*, 38, 543-551.



Intelligence, working memory, and multitasking performance

Roberto Colom^{*}, Agustín Martínez-Molina, Pei Chun Shih, José Santacreu

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 November 2009

Received in revised form 19 July 2010

Accepted 10 August 2010

Available online 16 September 2010

Keywords:

Intelligence
Working memory
Multitasking
Processing
Storage

ABSTRACT

Multitasking performance is relevant in everyday life and job analyses highlight the influence of multitasking over several diverse occupations. Intelligence is the best single predictor of overall job performance and it is also related to individual differences in multitasking. However, it has been shown that working memory capacity (WMC) is related to both intelligence and multitasking performance. Here we consider the simultaneous relationship among intelligence, WMC, and multitasking. The sample comprised three hundred and two applicants for air traffic control training courses. The main finding shows that intelligence and WMC are both related to multitasking, but only WMC predicts multitasking when their simultaneous relationship is considered. Furthermore, the processing and storage components of WMC predict multitasking performance. From an applied perspective it is suggested that WMC might be a relevant measure for personnel selection settings involving multitasking requirements.

© 2010 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

Understanding individual differences in multitasking is relevant because there is a large set of everyday life activities involving the simultaneous combination of distinguishable tasks. For better or worse we are living in a high technology society requiring multitasking skills (Hunt, 1995). Available job analyses underscore the relevance of multitasking for several occupations, like aircraft pilots, school bus drivers, or fire fighting supervisors (Peterson, Mumford, Borman, Jeanerret, & Fleishman, 1999). However, not too much is known about predictors of multitasking performance (Burgess, Veitch, de Lacy Costello, & Shallice, 2000; Damos, 1993; Myers, Stankov, & Oliphant, 1989; Rubinstein, Meyer, & Evans, 2001). Here we study concurrently two of such potential predictors, namely, intelligence and working memory capacity (WMC) considering a large and heterogeneous sample of applicants for admissions to air traffic control training courses.

1.1. Multitasking, working memory capacity and intelligence

A widely accepted definition of multitasking performance is the cognitive ability to perform "multiple task goals in the same time period by engaging in frequent switches between individual tasks" (Delbridge, 2000). Instead of multitasking, some researchers use the term 'dual tasking' or 'task switching' when two tasks are involved (Logan and Gordon, 2001; Monsell, 2003). In multitasking situations, different tasks are thought to interfere with one another (Monsell, 2003; Pashler, 1994). In his seminal book, Kahneman (1973) endorsed the view that available mental resources are shared by different tasks in a multitasking environment. Given that these mental resources are limited, interference among tasks is predicted. Logan (2002) claimed that this interference is produced because some mental operations cannot be divided, and, therefore, a bottleneck is generated. Nevertheless, no agreement regarding the most promising theoretical explanation is still available.

On the other hand, WMC is defined by the ability to retain information during short periods of time while performing a concurrent (and interfering) processing. WMC – i.e. the maximum amount of information that can be retained in the

^{*} Corresponding author. Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Spain. Tel.: +91 497 41 14.

E-mail address: roberto.colom@uam.es (R. Colom).

short term – relates to reasoning, problem solving, language comprehension, or learning, among other mental activities (Colom, Abad, Rebollo, & Chun Shih, 2005; Colom, Flores-Mendoza, Quiroga, & Privado, 2005; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Conway et al., 2005; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Kane et al., 2004; Miyake & Shah, 1999; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001). It is a cognitive system implicating the simultaneous temporary storage and processing of any given information. Thus, for instance, the letter rotation task involves the processing requirement of verifying if a given capital letter is displayed normal or mirror-imaged, as well as the short-term storage requirement of temporarily maintaining its spatial orientation for latter recall (Shah & Miyake, 1996). The accepted definitions of WMC (Engle et al., 1999; Miyake et al., 2001) highlight (a) the dual nature of tasks measuring this construct (mental resources must be distributed between the processing and the storage components), (b) the complexity subjects must face trying to successfully combine the storage requirement and the explicit demanded concurrent processing. Therefore, coping with several tasks at once, WMC could help to successfully switch from one task to another.

Finally, intelligence is usually characterized as a very general mental ability (Gottfredson, 1997). This ability (or *g*) involves several general purpose mental mechanisms, like reasoning, planning, or solving problems. Intelligence can be measured by tests like the Raven Progressive Matrices Test, verbal tests that depend on figuring out the relationships between certain words when the meanings of all the words themselves are largely familiar, and so forth.

1.2. Simultaneous relationship among intelligence, working memory, and multitasking

Intelligence and WMC are two psychological constructs extensively investigated in differential and cognitive psychology respectively (Colom, Abad, et al., 2005; Colom, Flores-Mendoza, et al., 2005; Colom, Rebollo, Abad, & Shih, 2006; Colom, Abad, Quiroga, Shih, & Flores-Mendoza, 2008; Kyllonen, & Christal, 1990; Unsworth & Engle, 2007). With respect to multitasking, Ben-Shakhar and Sheffer (2001) showed that high mental ability facilitates coping with these situations. König, Bühner, and Mürling (2005) have reported that intelligence and working memory predict individual differences in a multitasking situation, although working memory was a better predictor (see below). Similar results were found by Bühner, König, Pick, and Krumm (2006).

Hambrick, Oswald, Darowski, Rench, and Brou (2009) reported a study showing that WMC predicts multitasking. These researchers also measured intelligence, but, unfortunately (a) their SEM model dropped this variable from the analyses because WMC and intelligence were too highly correlated, and (b) the raw correlations among intelligence, working memory, and multitasking were not reported (their footnote 6 indicates that WMC was more highly correlated with multitasking than intelligence, suggesting that WMC is more fundamental than intelligence in accounting for individual differences in multitasking).

It is acknowledged that intelligence is the best single predictor of job related performance. Schmidt and Hunter's (2004) summary of available meta-analyses reports validity

coefficients ranging from .31 to .73 (average for predicting performance on the job = .55 and average validity for predicting in job training programs = .63). These authors note that intelligence, as measured by the available standardized tests, predicts (a) the attained occupational level and (b) actual performance on the job. They report values above .50 for predicting performance in training programs, on the job, and over the achieved occupational level, noting that "relationships this large are rare in psychological research and are considered 'large' (Cohen, Cohen, West, & Aiken, 2003, p. 171).

The present study is based on previously reported high relationships between intelligence and working memory (Ackerman, Beier, & Boyle, 2002; Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa, & Kyllonen, 2004; Colom, Abad, et al., 2005; Colom, Flores-Mendoza, et al., 2005; Kyllonen, & Christal, 1990). Thus, for instance, Oberauer, Schulze, Wilhelm, and Süß (2005) reported a correlation of .85. Using broad and representative latent constructs (not frequently done in published studies) Colom, Abad, et al. (2005) found a correlation of .89. Given these correlation values between working memory and intelligence, it may be asked which construct is a better predictor of multitasking when both are considered concurrently.

Therefore, here we measure intelligence and WMC for predicting multitasking performance using two situations closely resembling job requirements fitting air traffic control mental or cognitive requirements. Because tasks tapping WMC and multitasking situations share coping with two or more competing concurrent cognitive requirements, we hypothesize that WMC will behave as a better predictor than intelligence. The processing and storage components of working memory are also analyzed separately, because only the latter is usually (but not always) considered as the dependent measure of interest. As concluded by Conway et al. (2005) extensive methodological review "established procedures of assigning absolute spans have various shortcomings, and so scoring procedures that exhaust the information collected with a task should be used instead" (p. 776).

2. Method

2.1. Participants

The initial sample comprised 317 applicants for air traffic control training courses, but fifteen were excluded because of their extreme scores in some measures. Therefore, the analyzed sample included 302 participants (206 males and 96 females). Their mean age was 28.4 (SD = 6.2). All applicants were university graduates but from different educational areas (Engineering, 38.5%; Social sciences, 25.6%; Natural sciences, 13.2%; Humanities, 11%; Health 3.5%; other, 8.2%) which contributes to its heterogeneity. Participants were not recruited for this study and they applied voluntarily for the training course. Further, they were screened for medical status according to AENA's air traffic control requirements (www.aena.es) and Euro-Control Safety Regulatory Requirements (ESARR 5).¹

¹ http://www.eurocontrol.int/muac/public/faq/jobs_faq.html.

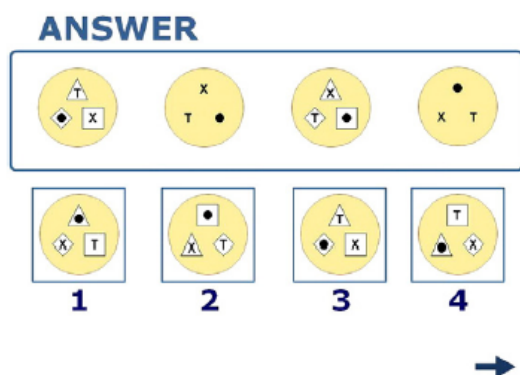


Fig. 1. Example from the intelligence test.

2.2. Measures

Intelligence was measured by an analytic reasoning test called TRASI (Rubio & Santacreu, 2003). TRASI is a computer test composed by a total of 98 items. In the version administered for this study only 30 items were chosen, because of time constraints.

Every item includes several abstract figures related by some underlying rules (Fig. 1). Three homogeneous parcels of 10 isomorphic items (Gf I, Gf II, and Gf III) were obtained from this test by splitting the total number of items to get a latent factor (Coffman & MacCallum, 2005; Kline, 1998; Little, Cunningham, Shahar, & Widaman, 2002). The parcels were equally balanced in difficulty by their isomorphic similarities. This means that the items were morphologically equivalent (Bejar, 1995). These similarities were based on (1) items' components (circles, squares, lines, colors...), (2) the localization of these components, and (3) the phase or period in which the components switch in the progressive matrix.

Participants are requested to extract rules in order to select the correct answer from a set of four alternatives (Fig. 1). The

specific instructions comprise four screens. The first one presents the task: "In what follows, you will be asked to complete a sequence of images such as the one shown next [one item is presented]. In doing so, you will have to select one out of the four options by clicking on it [a set of options is shown]. For each series, there is just one and only one correct answer. There is a time limit for each item. Clicking on the NEXT button an example will be shown". Afterwards two different examples are shown (screens two and three). Participants cannot continue if they do not deliver a response to each example. If the choice is not correct, the system gives an error message and shows the correct response. Otherwise a correct message is delivered and the following screen is shown. The fourth screen lets the participant to start with the test: "When you are ready just click the START button".

The test manual reports a reliability index of .84 (all items in the bank are used). The original program uses an adaptive algorithm that allows configuring the psychometric properties. The authors fixed the estimated standard error of (θ) to 0.4 in IRT, corresponding to a reliability value of .81 for 30 items. Cronbach's alpha coefficients for each parcel can be seen in Table 1.

With respect to the construct validity of this intelligence measure, the test manual reports a correlation of .75 with the Raven Advanced Progressive Matrices Test (RAMP), as well as a correlation of .74 with the Culture Fair Intelligence Test (CFIT) is .74 (Rubio & Santacreu, 2003). Jensen (1998) has argued that mental processes required to solve highly g loaded tests, like the RAPM and the CFIT, are shared by all the remaining tests in a given battery comprised by several diverse tests. Therefore, we can assume that our intelligence measure is tapping central mental processes relevant for intelligence (Colom, Jung, & Haier, 2006).

Working memory was measured by the computation span and dot matrix tasks. The computation span task was modelled after Ackerman et al. (2002). Firstly, the test presented a verification task (Fig. 2). Six seconds were allowed to see a math equation (but no time limit was set to verify its

Table 1
Descriptive statistics and correlation matrix (N= 302).

	Gf_I	Gf_II	Gf_III	Computation span	Computation span processing	Computation span storage	Dot matrix	Dot matrix processing	Dot matrix storage	Funnel	Divided attention
Gf_I	–	.52**	.50**	.19**	.12*	.17**	.20**	-.04	.24**	.05	.14*
Gf_II		–	.56**	.17**	.08	.17**	.22**	.08	.21**	.04	.14*
Gf_III			–	.19**	.14*	.16**	.30**	.03	.33**	.08	.19**
Computation Span				–	.49**	.95**	.49**	.12*	.50**	.01	.22**
Computation Span Processing					–	.19**	.32**	.10	.32**	.06	.18**
Computation Span Storage						–	.44**	.10	.45**	-.01	.19**
Dot Matrix							–	.47**	.95**	.07	.28**
Dot Matrix Processing								–	.18**	.00	.10
Dot Matrix Storage									–	.08	.27**
Funnel										–	.35**
Divided Attention											–
MEAN	5.5	5.6	5.7	136.4	69.8	66.6	60.4	34.3	26.1	4.4	3.6
SD	2.4	2.6	2.5	8.4	2.6	7.5	5.3	1.6	4.8	.63	.37
Skewness	-.24	-.41	-.33	-1.3	-1.04	-1.6	-.20	-1.3	-.13	-.73	-.46
Kurtosis	-.08	-.45	-.51	2.1	.65	3.03	-.15	1.5	-.41	.98	.31

Gf_I = parcel 1 for the intelligence test, Gf_II = parcel 2 for the intelligence test, Gf_III = parcel 3 for the intelligence test.

** $p < .01$.

* $p < .05$.

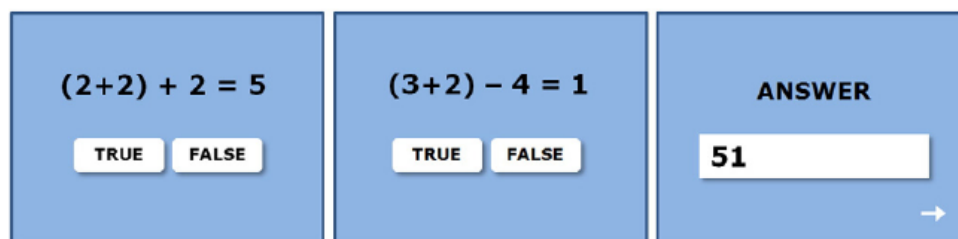


Fig. 2. Computation span task. From left to right: verification task, verification task, and answer screen (recall task> solutions from the equations comprised on the verification tasks must be reproduced in their correct serial order).

accuracy) like $(2+2)+2=5$, and the displayed solution, irrespective of its accuracy, must be remembered. After the final equation of the trial was displayed, the solutions from the equations must be reproduced in their correct serial order. Each math equation included two operations using digits from 1 to 10. The solutions were single-digit numbers. The experimental trials ranged from three to seven equation/solutions (5 levels \times 3 trials each = 15 trials total). Three scores were obtained: the number of correct answers in the verification and recalling tasks, the number of correct answers in the verification task, and the number of correct answers in the recalling task. The computation span task shows a reliability index (Cronbach α) of .82 (verification + recalling tasks).

The dot matrix task was modelled after Miyake et al. (2001). A matrix equation must be verified and then a dot location displayed in a five \times five grid must be retained (Fig. 3). The matrix equation required adding or subtracting simple line drawings and it was presented for a maximum of 4.5 s. Once the response was delivered, the computer displayed the grid for 1.5 s. After a given sequence of equation-grid pairs, the grid spaces that contained dots must be recalled clicking with the mouse on an empty grid. The experimental trials increased in size from three to five equations and dots (3 levels \times 3 trials = 9 trials total). Three scores were obtained: the number of correct answers in the verification and recalling tasks, the number of correct answers in the verification task, and the number of correct answers in the recalling task. The reliability index (Cronbach α) shows a value of .74 (verification + recalling tasks).

Finally, *multitasking* was measured by the divided attention and funnel tasks.

The divided attention task assesses workload while two different tasks are performed simultaneously (Fig. 4). Both

tasks are visuospatial and presumably compete for the same processing resources (Botella, Contreras, Shih, Leal, & Santacreu, 2000; Kahneman, 1973). The primary task is a spatial orientation dynamic task (Colom, Contreras, Botella, & Santacreu, 2002; Colom, Contreras, Shih, & Santacreu, 2003; Colom, Contreras, Arend, Leal, & Santacreu, 2004; Contreras, Colom, Hernández, & Santacreu, 2003; Contreras, Colom, Shih, Jesús Álava, & Santacreu, 2001; Contreras, Rubio, Peña, Colom, & Santacreu, 2007; Peña, Contreras, Shih, & Santacreu, 2008; Santacreu, 1999). Two different colored dots appear in unexpected initial positions on the computer screen. Both dots are located at the same distance from the target, but they have 90° angle of deviation with the correct course. The dots move at a constant speed during 25 s. Each dot has a control panel on the top of the screen. This panel has two boxes with arrows for modifying the dots course. This course must be adjusted by pressing on the arrows orienting the dots towards the target as fast as possible. Botella et al. (2000) have reported that this dynamic task shows reliability indices of .88 to .91.

The secondary task for this divided attention task is based on color detection. Applicants must press the space bar of the keyboard with his free hand (the one not used for mouse movements) only when the correct set of colors are recognized. Colors change while participants perform the primary task, so they must press the space bar only when a given combination of colors is shown. Therefore, there are hit and distracting items. Pressing the space bar for distracting items is considered a false alarm, whereas not pressing the space bar for hit items is considered an incorrect omission. Correct answers are for both space bar pressing at hit items and not space bar pressing at incorrect items (correct omission).

The divided attention task shows 30 color changes (11 hit items and 19 noise items) randomly assigned during 15 trials

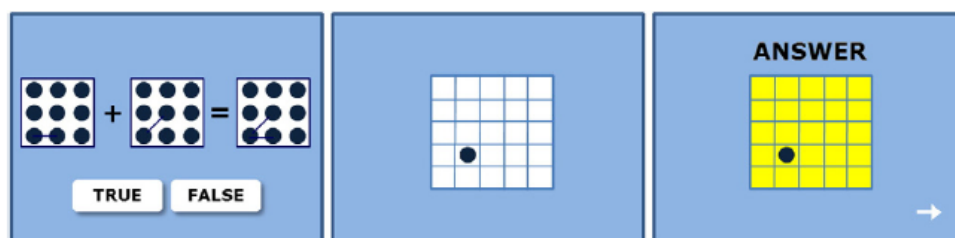


Fig. 3. Dot matrix task. From left to right: verification task, dot storage, and answer screen (recall task> dots must be recalled on a 5 \times 5 grid).

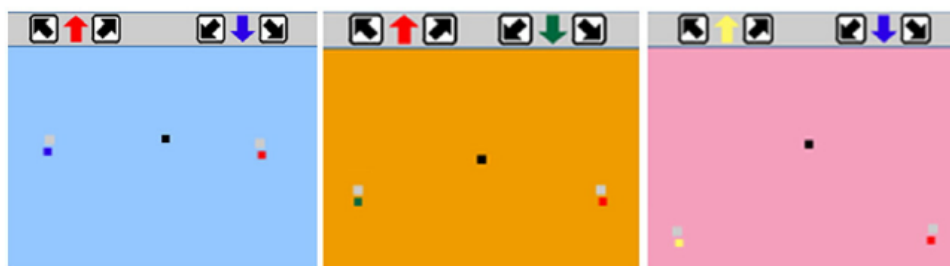


Fig. 4. Divided attention task. From left to right: two different dots on the spatial dynamic orientation primary task and hit and distracting items (correct and incorrect sets of colors) of the secondary task.

of the primary dynamic spatial task. The main index for the primary task is the Euclidean Distance (ED) between the target and the final position of the dots.²

The second index (A') is based in Grier (1971), Aaronson and Watts (1987), and Snodgrass and Corwin (1988). These formulas consider the proportion of correct answers (Ca) and false alarms (Fa).³

The main dependent variable combining total workload for the two indices are detailed above.⁴

ED is placed on the denominator because it is inversely proportional to performance. In other words, larger distances indicate worse performance. A' (correct answers) is placed on the numerator, since it is directly proportional to performance.

Finally, in the funnel task participants must figure out how to guide *simultaneously* (and as fast as possible) three dots towards a funnel through a specific approximation zone (Fig. 5). The individual dots move with different and constant speeds. The trial ends when the three dots reach the approximation zone or leave the screen. The same control panels used for the dynamic spatial orientation task are employed here to guide the dots. There are 12 trials (12 trials \times 3 dots for trial = 36 dots). Funnel locations, dot speeds, and control panel directions change across trials. In this task, the main dependent measure incorporates (a) number of dots correctly guided to the funnel's approximation zone (effectiveness index), (b) time registered for each mobile (efficiency index), and (c) Euclidean Distance (this index penalizes off-screen dots).⁵

Zone, or number of moving dots introduced correctly into the funnel, is placed on the numerator since it is directly proportional to performance. Also, in both multitasking formulas, Euclidean Distance always plays a negative role and it is inversely proportional to performance, so it is placed on the denominator. Finally, time is inversely proportional to performance and it is placed on the denominator too. As noted above, smaller numbers of introduced mobiles, larger distances, and longer times indicate worse multitasking performance.

The divided attention and funnel tasks fit well with standard conceptions of multitasking environments: (a) multiple task goals (moving dots, changing destinations, speed changes for

different items, different control panels for distinct items, different arrows for each panel, hit and distracting sets of colors, changes in funnel locations, etc.), (b) frequent switches between tasks (from one moving dot to the other, from one control panel to the space bar, from one point moving at a given speed to other point moving at a different speed, etc.), (c) same time period (in both multitasking situations, participants must invest a maximum amount of time to achieve the highest score). In both tasks distinguishable requirements interfere with one another and the available amount of mental resources is taxed by these requirements. From this perspective, the divided attention and funnel tasks tap core mental process requested by situations like air traffic control (Taatsgen, 2002).

Note that in all these computerized tasks, participants completed a set of practice trials to ensure appropriate understanding of their requirements.

2.3. Procedure

Participants individually completed a set of computerized tests under the standard environment known as SIDEPA, a Computer Based Assessment System (Santacreu, 2007). The intelligence test (TRASI) took 35 min on average. Multitasking measures (divided attention and funnel tasks) took 9 min and 15 min on average, respectively. Finally, working memory tasks (computation span and dot matrix) were performed with a standard time limit of 10 min each.

3. Results

Table 1 shows the descriptive statistics for the measures of interest along with the correlation matrix.

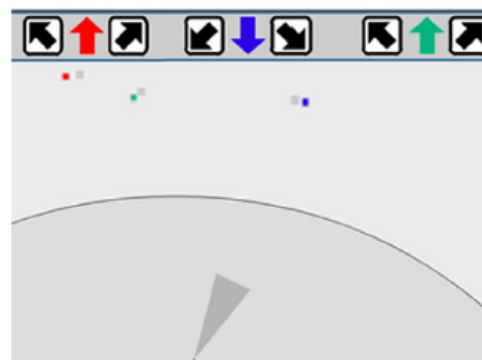


Fig. 5. Funnel task.

$$^2 \text{ ED} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

$$^3 \text{ If } Ca \geq Fa, \text{ then: } A' = \frac{1}{2} + \frac{(Ca - Fa)(1 + Ca - Fa)}{4Ca(1 - Fa)}.$$

$$\text{If } Ca < Fa, \text{ then: } A' = \frac{1}{2} - \frac{(Fa - Ca)(1 + Fa - Ca)}{4Fa(1 - Ca)}.$$

$$^4 \text{ Divided Attention} = \frac{A'}{\text{ED}}.$$

$$^5 \text{ Funnel} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\text{Zone}}{(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2})^2}.$$

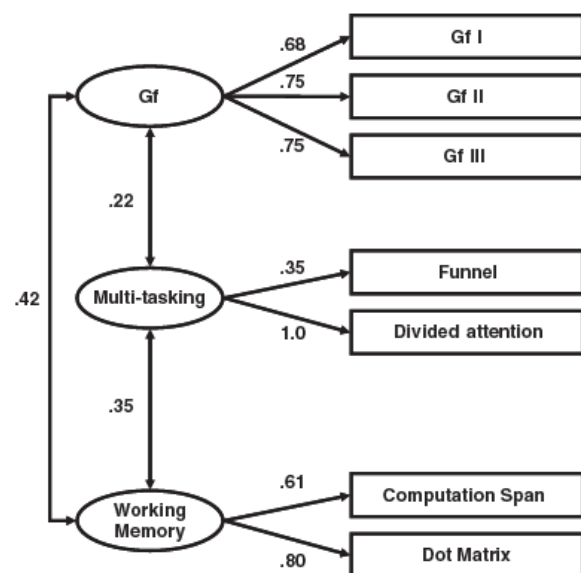


Fig. 6. Measurement model for intelligence, working memory capacity, and multitasking.

It can be seen that these measures show correlation values quite consistent with the definition of three latent factors for intelligence, working memory (WMC), and multitasking.

The analyses were conducted using AMOS 5.0 (Arbuckle, 2003) and the models were assessed by the next fit indices. The $\chi^2/\text{degrees of freedom}$ ratio is first considered given that it is usually taken as a rule of thumb (Jöreskog, 1993). Values showing a good fit must be around 2.0 or lower. Second, the root mean square of approximation (RMSEA) index is sensitive to misspecification of the model. RMSEA values between 0 and .05 indicate very good fit, values between .05 and .08 indicate reasonable fit, and values greater than

.10 indicate poor fit (Ackerman et al., 2002; Byrne, 1998; Jöreskog, 1993). Finally, the comparative fit index (CFI) is also reported; acceptable values must be larger than .90 (Marsh, Balla, & McDonald, 1988).

First, a measurement model was tested regarding intelligence, WMC, and multitasking factors. Results are depicted in Fig. 6. Model fit values are excellent: $\chi^2_{(12)} = 7.3$, $p = .83$, CMIN/DF = .61, RMSEA = .000 and CFI = 1.0. Fig. 6 shows that both intelligence and WMC are related to multitasking. Nevertheless, WMC is more highly correlated with multitasking than intelligence (.35 and .22, respectively). Moreover, intelligence and WMC show a correlation of .42.

Second, the same measurement model was tested, but the working memory factor was defined by (a) processing scores (verification tasks only) or (b) storage scores (recalling tasks only). This is intended to know if the processing and storage components of working memory tasks show distinguishable relationships to multitasking because, as noted above, only the storage component is usually considered as the dependent measure of interest. Model fit was excellent for both components: Processing [$\chi^2_{(12)} = 8.7$, $p = .73$, CMIN/DF = .73, RMSEA = .000, CFI = 1.0] and Storage [$\chi^2_{(12)} = 10.01$, $p = .61$, CMIN/DF = .83, RMSEA = .000, CFI = 1.0]. The correlation between WMC and multitasking is .41 for processing and .33 for storage. However, the correlation between storage and intelligence is a bit higher (.43) than the correlation between the latter and the processing component of working memory (.32).

Third, a SEM analysis was computed: intelligence and WMC are correlated and both predict the multitasking factor. Results are depicted in Fig. 7.

Model fit was excellent: $\chi^2_{(12)} = 7.3$, $p = .83$, CMIN/DF = .61, RMSEA = .000, CFI = 1.0. Fig. 7 shows that only WM predicts multitasking with a structural weight of .32. Therefore, intelligence is not related to multitasking once its correlation with WMC is controlled for.

We tested if the regression weights from intelligence to multitasking, as well as from WMC to multitasking can be

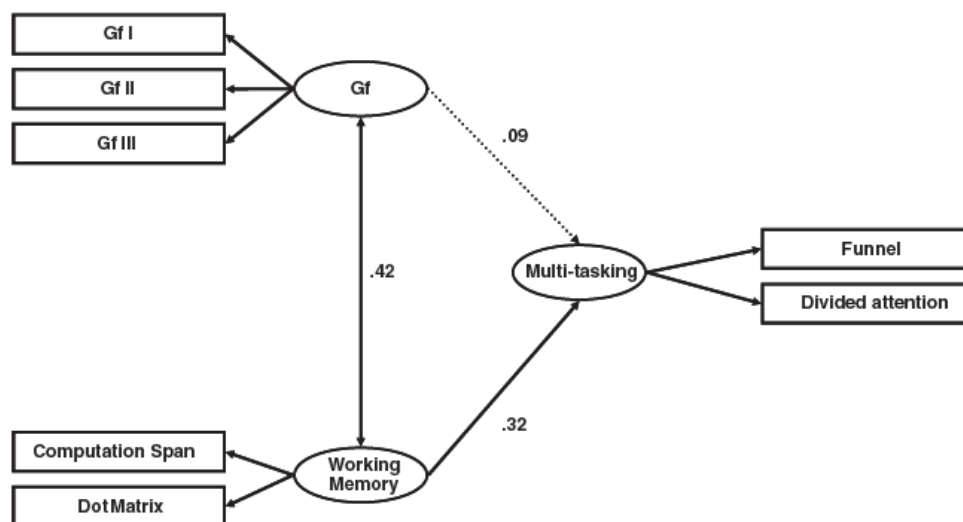


Fig. 7. SEM for intelligence and working memory capacity as correlated predictors, and multitasking as the dependent variable.

fixed to be equal. This constrain led to a significant change of fit ($\Delta\chi^2_{(1)} = 0.2$; $p = .89$).

Fourth, the same SEM analysis is computed, but this time the processing and storage components of working memory are considered separately. Model fit was excellent for both components: Processing [$\chi^2_{(12)} = 8.7$, $p = .73$, CMIN/DF = .73, RMSEA = .000, CFI = 1.0] and Storage [$\chi^2_{(12)} = 10.01$, $p = .61$, CMIN/DF = .83, RMSEA = .000, CFI = 1.0]. The processing component shows a higher regression weight to multitasking (.37) than the value corresponding to the storage component (.29).

In order to obtain independent empirical evidence regarding our main finding, we submitted the König et al. (2005) correlation matrix (see their Table 1) to a SEM equivalent to that depicted in Fig. 7. We did this because their matrix comprised several measures of interest: three working memory tasks (reading span, spatial coordination, and switching numerical), three fluid intelligence tests (analogies, number series, and matrices), and three multitasking variables (speed, error, and questions). Number series was dropped from the analysis because of its very low communality. Attention, polychronicity, and extraversion were also excluded because we did not measure these variables. Model fit was appropriate [$\chi^2_{(17)} = 27.30$, $p = .054$, CMIN/DF = 1.6, RMSEA = .071, CFI = .93]. Results shown in Fig. 8 are highly consistent with our own findings: (a) fluid intelligence is not related to multitasking (.02) once its correlation with working memory (.71) is taken into account, and (b) working memory predicts (.79) multitasking.

As with our dataset, we tested here if the regression weights from intelligence to multitasking, as well as from working memory to multitasking, can be fixed to be equal. Once again this constrain led to a significant change of fit ($\Delta\chi^2_{(1)} = 1.35$; $p = .24$).

Finally, we computed a regression analysis for reporting straightforwardly the presumed application of the main finding. Average z scores for intelligence, working memory (WMC), and multitasking were obtained first. The latter score was the dependent measure. The stepwise regression produced these beta values: Intelligence = .11 ($p = .07$) and

WMC = .17 ($p = .004$). Multiple R changed from .204 for WMC to .228 when intelligence was introduced in the equation. This change was not significant ($p = .072$).

3.1. Sex and age

One anonymous reviewer suggested the inspection of two further issues. First, is there any significant sex difference? Average z scores were computed for intelligence, WMC, and multitasking as detailed above. Afterwards, these were converted to the IQ scale. Results showed that males outperform females in intelligence (102 vs. 96), WMC (102 vs. 96), and multitasking (102 vs. 95). All these comparisons were highly significant ($p < .01$).

Secondly, does controlling for age alter any of the relations reported? Using the average z scores noted before, we computed the correlations among intelligence, WMC, and multitasking both controlling and not controlling for age. No difference was found.

4. Discussion

The general finding shows that working memory capacity (WMC) and intelligence are both related to multitasking. However, SEM results did show that intelligence does not predict multitasking once its correlation with WMC is controlled for. This result is not consistent with Ben-Shakhar and Sheffer (2001), Stankov, Fogarty, and Watt (1989), König et al. (2005), and Bühner et al. (2006). These studies found that both WMC and intelligence predict multitasking, although WMC was a better predictor than intelligence. Nevertheless, the analytic strategy followed by König et al. (2005) shows that ΔR^2 for fluid intelligence is very low (.03, .05, and .04) once WMC is included.

We note that correlations among the constructs of interest are higher on the König et al.'s study than in the present study (see Figs. 7 and 8). This can be attributed to the fact that in the König et al.'s study (a) intelligence was measured by different tests (two were used in our re-analysis), and (b) WMC was

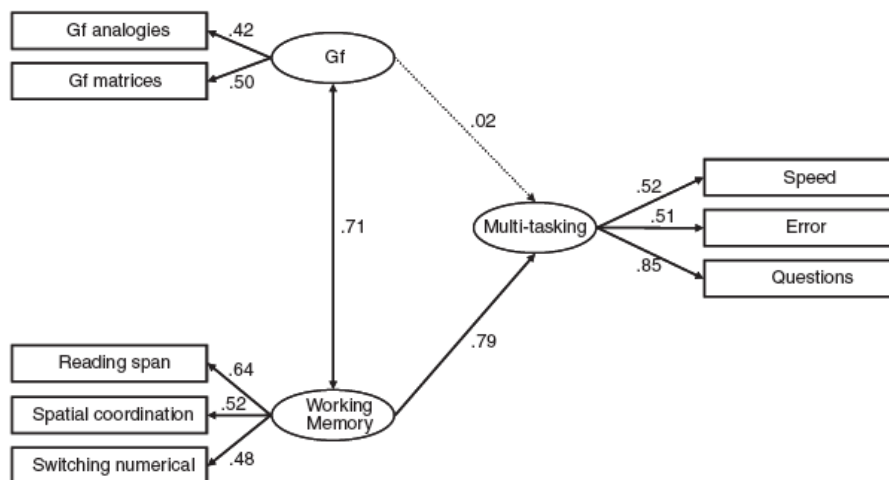


Fig. 8. SEM for intelligence and working memory capacity as correlated predictors, and multitasking as the dependent variable. Results from the König et al. (2005) replication study.

measured by three working memory tasks. Therefore, Koning et al. tapped intelligence and working memory more comprehensively than we did. Anyways, it is noteworthy that the same general result emerges: only WMC predicts multitasking performance. This reinforces the main conclusion attained here.

Beyond this general finding, it is observed that the processing and storage components of working memory capacity are both related to multitasking. Regarding this particular issue, Bühner et al. (2006) explored the predictive validity of three working memory components, namely, coordination, supervision, and storage in the context of processing. *Storage in the context of processing* was assessed by tasks in which participants have to memorize stimuli, then perform another task, and finally recall the stimuli. *Coordination* was measured by tasks changing relations between several independently changing objects that have to be monitored and certain critical relations have to be detected. *Supervision* was measured combining choice reaction time tasks, in which participants had to switch between decision rules, so switching costs were the dependent measure.

In the Bühner et al. (2006) study, only storage in the context of processing can be seen as one standard working memory measure, whereas supervision and coordination mainly resemble the processing component of working memory capacity. They found that only storage in the context of processing predicts multitasking accuracy. However, they did not provide different scores for storage and processing. Our findings add to this study showing that both components predict individual differences in multitasking.

This latter result must be underscored. Basic research shows that the correlation between any given elementary cognitive task and intelligence increases making it part of a dual task. Dual tasks challenge working memory capacity, so participants' performance better reflect individual differences in cognitive resources (Jensen, 1998, 2006). We have shown that the temporary storage component of working memory, on the one hand, and its processing requirements, on the other hand, are both related to multitasking, even when the correlation between intelligence and multitasking is controlled for. However, note that these two working memory components were estimated from the same dual task environment.

Regarding sex differences, Hambrick et al. (2009) found a sex difference, favouring males, equivalent to approx. 5 IQ points on their multitasking environment (Synthetic Work Paradigm, and SynWin). Here we found an average sex difference, also favouring males, equivalent to 7 IQ points. These two independent studies claim against the widely accepted, but not proven, statement that females are better at multitasking than males. Hambrick et al. suggest that this average difference can be explained by males' greater experience playing videogames. Perhaps this is the case, but we note that we also found a male advantage in intelligence and working memory equivalent to approx. 6 IQ points. We do not know if this also true in the Hambrick et al.'s dataset, because this information was not reported.

The main practical implication that would be derived from our findings is that for personnel selection purposes in settings where multitasking is involved, like air traffic control, WMC behaves as a good predictor. Perhaps the importance of working memory for applied settings has been neglected,

because the (non-tested) presumption that working memory has no incremental validity beyond intelligence. Here we have shown that (a) working memory predicts multitasking performance, (b) the processing and storage components of working memory show relevant predictive values, and (c) intelligence is a weaker predictor than working memory. Therefore, working memory tasks might be used for personnel selection when multitasking requirements are involved.

Finally, using working memory measures to predict multitasking skills in personnel selection settings would attenuate the perception of bias among applied psychologists (Reeve & Charles, 2008). For instance, the APA report on intelligence (Neisser et al., 1996) noted that average intelligence difference between Afro-Americans and Whites is equivalent to 15 IQ points. However, Lynn (2006) has shown that this average difference for working memory measures is equivalent to 6 IQ points. Given that working memory is a better predictor of multitasking than intelligence, we cannot see any plausible argument for not using working memory, instead of intelligence, for these practical purposes.

Acknowledgment

The research referred to in this article was partially supported by the project AENA-UAM/785001.

References

- Aaronson, D., & Watts, B. (1987). Extensions of Grier's computational formulas for for A' and B' to below-chance performance. *Psychological Bulletin*, 102, 439–442.
- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. D. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 567–589.
- Arbuckle, J. L. (2003). AMOS 5.0. SmallWaters.
- Ben-Shakhar, G., & Sheffer, L. (2001). The relationship between the ability to divide attention and standard measures of general cognitive abilities. *Intelligence*, 29, 293–306.
- Bejar, I. I. (1995). From adaptive testing to automated scoring of architectural simulations. In E. L. Mancall & P. G. Bashook (Eds.), *Assessing clinical reasoning: The oral examination and alternative methods* (pp. 115–127). Evanston, IL: American Board of medical Specialties.
- Botella, J., Contreras, M. J., Shih, P. C., Leal, O. G., & Santacreu, J. (2000). El rendimiento en situación de doble tarea como medida de la capacidad para la tarea primaria [Performance in double task settings as a measure of capacity in the primary task]. *Estudios de Psicología*, 21, 41–53.
- Bühner, M., König, C. J., Pick, M., & Krumm, S. (2006). Working memory dimensions as differential predictors of the speed and error aspect of multitasking performance. *Human Performance*, 19, 253–275.
- Burgess, P. W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, 38, 848–863.
- Byrne, B. M. (1998). *Structural equation modelling with LISREL, PRELIS, and SIMPLIS: Basic concepts, applications, and programming*. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Coffman, D. L., & MacCallum, R. C. (2005). Using parcels to convert path analysis models into latent variable models. *Multivariate Behavioral Research*, 40, 235–259.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioural sciences*, (3rd ed.). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Colom, R., Abad, F. J., Quiroga, M. A., Shih, P. C., & Flores-Mendoza, C. (2008). Working memory and intelligence are highly related constructs, but why? *Intelligence*, 36, 584–606.
- Colom, R., Abad, F. J., Rebollo, I., & Chun Shih, P. (2005a). Memory span and general intelligence: A latent-variable approach. *Intelligence*, 33, 623–642.
- Colom, R., Contreras, M. J., Arend, I., Leal, O. G., & Santacreu, J. (2004b). Sex differences in verbal reasoning are mediated by sex differences in spatial ability. *Psychological Record*, 54, 365–372.

- Colom, R., Contreras, M. J., Botella, J., & Santacreu, J. (2002). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32, 903–912.
- Colom, R., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability with a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19, 92–100.
- Colom, R., Flores-Mendoza, C., Quiroga, M. A., & Privado, J. (2005b). Working memory and general intelligence: The role of short-term storage. *Personality and Individual Differences*, 39, 1005–1014.
- Colom, R., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2006a). Distributed brain sites for the g-factor of intelligence. *Neuroimage*, 31, 1359–1365.
- Colom, R., Rebollo, I., Abad, F. J., & Shih, P. C. (2006b). Complex span tasks, simple span tasks, and cognitive abilities: A reanalysis of key studies. *Memory & Cognition*, 34, 158–171.
- Colom, R., Rebollo, I., Palacios, A., Juan-Espinoso, M., & Kyllonen, P. C. (2004a). Working memory is (almost) perfectly predicted by g. *Intelligence*, 32, 277–296.
- Contreras, M. J., Colom, R., Hernández, J. M., & Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis. *The Journal of General Psychology*, 130, 277–288.
- Contreras, M. J., Colom, R., Shih, P. C., Jesús Álava, M., & Santacreu, J. (2001). Dynamic spatial performance: Sex and educational differences. *Personality and Individual Differences*, 30, 117–126.
- Contreras, M. J., Rubio, V. J., Peña, D., Colom, R., & Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: The unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, 35, 297–303.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163–184.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786.
- Damos, D. L. (1993). Using meta-analysis to compare the predictive validity of single- and multiple-task measures to flight performance. *Human Factors*, 35, 615–628.
- Delbridge, K. A. (2000). *Individual differences in multi-tasking ability: Exploring a nomological network*. Unpublished doctoral dissertation, Michigan State University, East Lansing.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309–331.
- Gottfredson, L. S. (1997). Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography. *Intelligence*, 24, 13–23.
- Grier, J. B. (1971). Nonparametric indexes for sensitivity and bias: Computing formulas. *Psychological Bulletin*, 75, 424–429.
- Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Darowski, E. S., Rench, T. A., & Brou, R. (2009). Predictors of multitasking performance in a synthetic work paradigm. *Applied Cognitive Psychology*, doi:10.1002/acp.1624
- Hunt, E. B. (1995). *Will we be smart enough? A cognitive analysis of the coming workforce*. New York: Russell Sage Foundation.
- Jensen, A. R. (1998). *The g factor: The science of mental ability*. Westport, CT, US: Praeger Publishers/Greenwood Publishing Group.
- Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Jöreskog, K. (1993). Testing structural equation models. In K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing Structural Equation Models* (pp. 294–315). Newbury Park: Sage.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 189–217.
- Kline, R. B. (1998). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York, NY, US: Guilford Press.
- König, C. J., Bühner, M., & Müring, G. (2005). Working memory, fluid intelligence, and attention are predictors of multitasking performance, but polychronicity and extraversion are not. *Human Performance*, 18, 243–266.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity. *Intelligence*, 14, 389–433.
- Little, T. D., Cunningham, W. A., Shahar, G., & Widaman, K. F. (2002). To parcel or not to parcel: Exploring the question, weighing the merits. *Structural Equation Modeling*, 9, 151–173.
- Logan, G. D. (2002). An instance theory of attention and memory. *Psychological Review*, 109, 376–400.
- Logan, G. D., & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, 108, 393–434.
- Lynn, R. (2006). *Race differences in intelligence: An evolutionary analysis*. Augusta, GA, US: Washington Summit Publishers.
- Marsh, H. W., Balla, J. R., & McDonald, R. P. (1988). Goodness-of-fit indexes in confirmatory factor analysis: The effect of sample size. *Psychological Bulletin*, 103, 391–410.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 621–640.
- Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences (Regular Ed.)*, 7, 134–140.
- Myors, B., Stankov, L., & Oliphant, G. (1989). Competing tasks, working memory, and intelligence. *Australian Journal of Psychology*, 41, 1–16.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard, T. J., Jr., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., et al. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *The American Psychologist*, 51, 77–101.
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H. (2005). Working memory and intelligence — Their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131, 61–65.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220–244.
- Peña, D., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2008). Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychologica*, 128, 1–14.
- Peterson, N. G., Mumford, M. D., Borman, W. C., Jeanneret, P. R., & Fleishman, E. A. (1999). *An occupational information system for the 21st century: The development of O*NET*. Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Reeve, C. L., & Charles, J. L. (2008). Survey of opinions on the primacy of g and social consequences of ability testing: A comparison of expert and non-expert views. *Intelligence*, 36, 681–688.
- Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 763–797.
- Rubio, V. J., & Santacreu, J. (2003). TRASI. Madrid: TEA.
- Santacreu, J. (1999). SODT-R and SVDT-R. Dynamic computerized tests for the assessment of spatial ability (revised versions). *Technical Report*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Santacreu, J. (2007). (Sistema Informatizado de Evaluación Psicológica) [A Computer Based Assessment System (CBA)]. *Technical Report*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Schmidt, F. L., & Hunter, J. (2004). General mental ability in the world of work: Occupational attainment and job performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 86, 162–173.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4–27.
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 34–50.
- Stankov, L., Fogarty, G., & Watt, C. (1989). Competing tasks: Predictors of managerial potential. *Personality and Individual Differences*, 10, 295–302.
- Taatgen, N. A. (2002). A model of individual differences in skill acquisition in the Kanfer-Ackerman air traffic control task. *Cognitive Systems Research*, 3(1), 103–112.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin*, 133, 1038–1066.

2.3. Martínez-Molina, A., Shih, P.C., Contreras M.J., & Santacreu, J. (Under Review).

Working memory structure and mental rotation: a dynamic spatial study. *Memory & Cognition*.

Working memory structure and mental rotation: a dynamic spatial study

Martínez-Molina, A., Shih, P.C., Contreras. M.J., and Santacreu, J

Abstract

Classic and recent models of working memory suggest different subdivisions of the theoretical cognitive memory structure to predict the visuospatial performance considering the visual-spatial nature of information or the static-dynamic kind of the tasks. The structure of the cognitive memory is a highly debated issue. In this context, it is interesting to see whether a key process as mental rotation only requires passive visual storage or if it also includes an active visual manipulation. The present research studies this effect in a computerized dynamic spatial test with a sample of 892 graduates who were competing for high-wage job positions. The results showed that mental rotation has a differential relationship with two working memory tests, a spatial and a numeric one, and also with the storage and processing scores. Interestingly, working memory supports visual storage for mental rotation but not executive processing. These results provide partial support in a dynamic spatial test to previous research on the specific domain of visuospatial working memory storage and to the existence of a specific component for visual manipulations, such as rotation. Additionally, according to the findings, mental rotation is a reliable predictor of the general dynamic spatial orientation performance.

Key words: working memory; mental rotation; visuospatial; dynamic tests;

Memoria de trabajo y rotación mental: un estudio espacial dinámico

Martínez-Molina, A., Shih, P.C., Contreras. M.J., y Santacreu, J

Resumen

Modelos clásicos y recientes de la Memoria de Trabajo sugieren una subdivisión en su estructura teórica para predecir adecuadamente el rendimiento viso-espacial teniendo en cuenta la naturaleza de la información (visual, espacial) y el tipo de tarea (estática, dinámica). La estructura de la Memoria de Trabajo está en discusión, y en este debate es interesante estudiar qué recursos de memoria están implicados en un proceso clave como el de la Rotación Mental; almacenamiento visual pasivo o también manipulación visual activa. La presente investigación estudia esta cuestión en una prueba espacial dinámica informatizada en una muestra de 892 licenciados en un proceso de selección de personal. Los resultados muestran que la rotación mental tiene una relación diferencial con dos tests de memoria de trabajo (uno visual y otro numérico) e incluso con sus puntuaciones de almacenamiento y procesamiento. Estas relaciones apoyan el sustento del almacenamiento visual temporal de las imágenes rotadas, pero no de su procesamiento ejecutivo supervisado. Los resultados suponen un apoyo parcial a un dominio específico viso-espacial de la memoria de trabajo y la existencia de otro componente para las manipulaciones visuales como la rotación mental, distinto del control ejecutivo. Además, de acuerdo con otros resultados, la rotación mental es un buen predictor del rendimiento espacial dinámico.

Palabras clave: Memoria de trabajo; rotación mental; viso-espacial; tests dinámicos;

Introduction

Among other things, Working Memory (WM) is conceptualized as a specialized system, which stores information and underlies different human processes like focusing attention, conscious rehearsal and mental transformation of information (Baddeley, 2003; Colom, 2004a). Some authors emphasize the importance of WM in the necessary cognitive skills structure to deal with different spatial abilities. Puzzles such as the Minnesota Form Board Test (Thurstone, 1948), capital letters or rotated images (Peters, Laeng, Latham, & Jackson, 1995), require managing information stored in memory. Also, the studies of Shah and Miyake (1996), and Miyake, Friedman, Rettinger, Shah and Hegarty (2001), reveal high relations between visuospatial WM and different spatial abilities.

In general, there are some disagreements in the literature between the WM structure and visuospatial performance. On one hand, the mayor part of the studies supports that verbal, quantitative, visual and spatial WM tasks place different processing demands on the participants (Hegarty, Shah & Miyake, 2000; Klauer & Zhao 2004; Kosslyn, Brunn, Cave, & Wallach, 1984). On the other hand, some studies support the existence of a unique system that temporary stores the information of any cognitive task (Colom & Shih, 2004b).

Along the same line, the same questions with regard to the storage and processing components of WM can be made. Is it sufficient to consider one single storage pool for visuospatial information? Does the Executive Control oversee all processes required in the visuospatial performance? Or, does the model need additional sub-WM components? (e.g. inner scribe, visual buffer, visual cache; Logie, 1995; Pearson, 2001; Pearson, Logie, & Gilhooly, 1999).

Moreover, other discrepancies may be traced in relation to concepts, such as spatial and dynamic ones. These divergences are probably due to the paper and pencil tests' assessment difficulties. Dynamic (or static) refers to “how” visual properties are represented. In this sense, the authors that use dynamic refer to the ability to perceive real motion (Colom, Contreras, Botella, & Santacreu, 2002; Contreras, Colom, Hernández, & Santacreu, 2003; D'Oliveira, 2004; Law, Pellegrino, & Hunt, 1993; Pellegrino & Hunt, 1989; Pellegrino, Hunt, Abate, & Farr, 1987; Peña, Contreras, Shih & Santacreu, 2008). On the other hand, spatial refers to “where” visual properties are represented (Logie & Marchetti, 1991). In other words, not everything dynamic is spatial (e.g. a static shape that changes the color during time), and not all spatial has to be dynamic (e.g. a course estimation of a static object).

In this context, Mental Rotation (MR) becomes a central process in the debate of WM whether only requires a passive visual storage or if it also includes an active visual manipulation. The basic findings about people's ability to transform images in two or three dimensions through MR are consistent in the literature. Interestingly, people need some time to correctly respond to MR processes in transforming images (Wickens, Vincow, & Yeh, 2005). This response time is linearly related to the angular discrepancy of the compared stimuli, such that people need more time and make more mistakes when respond to items with more angular degrees (Mumaw, Pellegrino, Kail, & Carter, 1984; Prieto, Carro, Pulido & Orgaz, 1992; Shepard & Metzler, 1971). In these studies, subjects' performance is related to the metric properties of the items. This effect suggests that people mentally rotate the images perceived as if it were a physical rotation of objects (Shepard & Cooper, 1982). These metric properties should have a linear relationship with the storage component of WM. That is, the higher the angular discrepancy, the higher the response time, and consequently, the longer the visual storage. Furthermore, the

studies of MR with WM or dynamic tests are scarce (Colom, Martínez-Molina, Shih & Santacreu, 2010). For example, Larson (1996) designed different tasks to measure static and dynamic MR as a single mental operation. The correlations between performance on the static and dynamic spatial tests were very high (between .80 and .90), which according to the author supports the hypothesis that the mental rotation process is common in all studied spatial tasks. However, the cause of the differences between the static and dynamic tasks is still unclear.

Objectives of the present study

The main purpose of the present study was to test which components and processes of WM support MR in a dynamic spatial test. It is expected that visual information are kept in the storage component of WM for longer periods as the angle of rotation increased even though the stimulus is moving. In the same way, the processing component should have the same results. If WM is assessed with visuospatial and a non-visuospatial tests, considering its spatial nature, MR measurement should be more related to visuospatial scores. Additionally, MR could be an appropriate predictor of the dynamic spatial performance.

In order to study these issues, it is necessary to use computerized tests that a) asses the dynamic spatial reasoning, i.e., working with stimuli moving in space at a certain speed, and b) automatically records participant's moves and the time they occur. This type of dynamic orientation task can be configured to assess different angular discrepancies that would require mental changes of the context elements.

Method

Participants

A total of 892 volunteer applicants for a high cognitive demanding job comprised the sample. All applicants were graduates from different educational areas and participated in a national job selection process (Engineering, 40.7%; Social sciences, 26.3%; Natural sciences, 13.5%; Humanities, 10.7%; Health 3.2%; other, 5.5%). The sample was comprised by 280 females (31.4%) and 612 males (68.6%), while the mean age was 28.8 ($SD = 8.2$). Participants were screened according to standard visual requirements cover, among other things, the acute for eyesight (distant and near visual acuity, field of vision) and normal color perception. Importantly, in the beginning of the study, they signed a written report in which they consented to be part of the research that was related to the selection process.

Materials

The Spatial Orientation Dynamic test (SODT-R; Santacreu, 1999) that assesses the ability to guide simple moving dots toward a destination was used. In this test, the course of each dot adopts a value between 0 and 359 degrees in the plane of the screen. In Figure 1, there is an example of a trial in which two dots, each one with a different color, appear in a position and then advance with relation to their initial course. Both dots appear at the same distance from the target, have an original course that forms a 90-degree angle with regard to the correct course and advance at a constant speed. Each control panel has the same color as the corresponding moving dot (blue or red). Pressing on the adjacent black arrows can change the course of the mobile. Each click changes the course of the dot by 10 degrees. The participant has to repeatedly press on the control panel buttons until she/he achieves the desired orientation. If the course is not

modified, the dot advances in accordance with the course specified in the configuration can even go outside the screen.

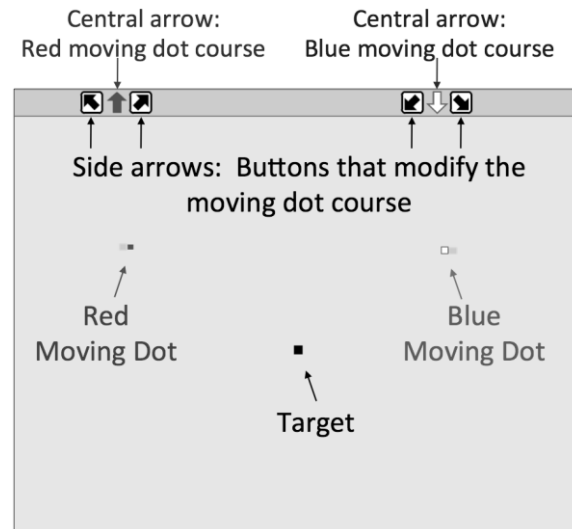


Fig. 1. Spatial Orientation Dynamic Test Revised (SODT-R).

The test comprises of 31 trials, while each trial lasts for 25 seconds. The first two trials are for practice purposes and are only used so that the participants can be trained in handling and understanding the test. Since each trial contains two moving dots, the total number of trials is 58 ($29 \times 2 = 58$). In each trial, the moving dots start from different positions that are always equally distant to the final target. Each moving dot was displayed to form an angle with its initial course and the necessary course to the destination. In order to assess the MR in dynamic test, mobile dots items were designed with different angle values (90° , 180° , and 270°). The angular discrepancy of the item was calculated by adding the angles formed by the initial course of the mobile dot and the right course to the target destination. In summary, the test provides three relevant indexes for this study: Distance (DIST): The final number of pixels between the dots and the target destination, which is the index of general orientation performance in the dynamic test. Mental Rotation (MR): MR can be measured by the individual's first clicks over the

controls. The participant must choose which direction button click to reduce the initial angular discrepancy between the moving dots and the final destination but considering the course of each of the moving dot. MR is the number of correct responses that reduce the initial angular discrepancy (90°, 180°, and 270°). Response Time (RT): Which is the time (ms) that passes between the beginning of the trial and the initial response of the participant, or in other words, the duration of MR process. The reliability of the SODT-R general performance index in previous studies was between .9 and .95 (Colom, Contreras, Shih & Santacreu, 2003; Contreras, Colom, Hernández & Santacreu, 2003; Contreras, Rubio, Peña, Colom & Santacreu, 2007).

Working memory (WM): was measured by two computerized span tasks, Dot matrix (visuospatial) and Computation Span (non-visuospatial). The Dot matrix task was modeled according to Miyake, Friedman, Rettinger, Shah and Hegarty (2001). As illustrated in Figure 2, the participant first needs to verify a matrix equation and then to retain a dot location displayed in a 5 x 5 grid. The matrix equation task is presented for a maximum of four and a half seconds and requires adding or subtracting simple line drawings. After the participants' response, the computer displays a dot grid for one and a half second. Following this, the participant needs to answer a sequence of two to five equation-grid pairs, by recalling which grid spaces contained dots. Especially, he needs to click with the mouse on an empty grid, indicating the space position he thinks the dots appeared, independently of the order of appearance. The Dot matrix includes three practice trials, each one containing two equations and two dots. The sets increase in size progressively, from two to five both for equations and dots, up to a total of nine trials (3 levels x 3 trials = 9 trials total).

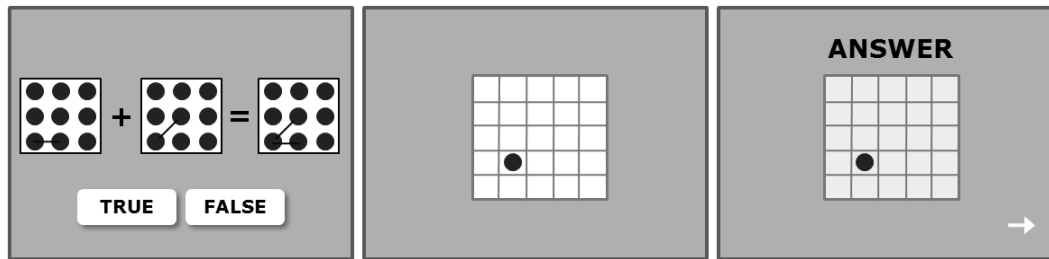


Fig. 2. From left to right: verification task (processing scores), dot storage and answer screen (storage scores).

Three scores are obtained: the total number of correct answers in the verification and recalling tasks, the number of correct answers in the verification task (processing), and the number of correct answers in the recalling task (storage). The reliability index in this application is .74 (Cronbach α). The Computation Span test is based on Ackerman, Beier, and Boyle (2002), and includes a verification task and a recall task. Participants have six seconds to verify a simple math equation (see Figure 3) and remember the displayed solution, irrespective of its accuracy. After the final equation is displayed, participants are prompted to recall the correct serial order of each of the presented solutions from the equations. Each math equation includes two operations using digits from 1 to 10, and the provided and actual solutions always contain single-digit numbers. The test ranges from three to seven equation/solutions (5 levels x 3 trials each = 15 trials in total).

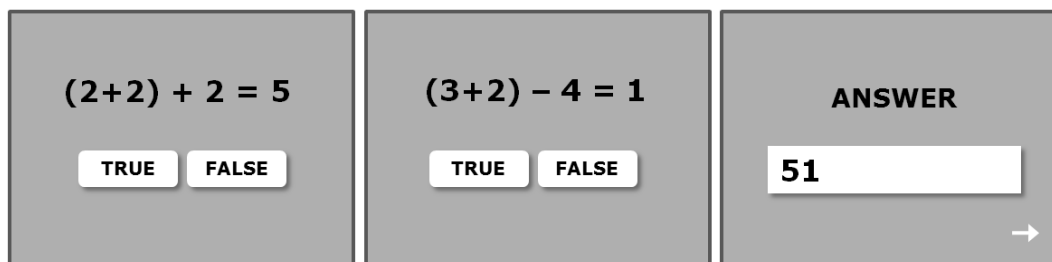


Fig. 3. From left to right: first verification task, second verification task and answer screen (recall task where solutions from the equations comprised on the verification tasks must be reproduced in their correct serial order).

Three scores are obtained: the total number of correct answers in the verification and recalling tasks, the number of correct answers in the verification task (processing), and the number of correct answers in the recalling task (storage). The computation span task reliability index (Cronbach α) in the present study is .82.

Procedure

Applicants individually completed a set of computerized tests under a computer based assessment system for high-wage job positions. First, they completed the SODT-R, a task that lasted for 25 minutes. Next, because of time assessment limits, 326 participants (one third of all applicants) were randomly selected to do the WM tasks (Dot Matrix and Computation Span) with a scheduled time limit of 10 minutes for each test.

Results

In order to examine if the effect of MR in dynamic tests is the same with its effect in static tests, the average of correct answers (MR) and the response time as a function of the angular discrepancy was analyzed. Table 1 shows the descriptive statistics of both variables for the three angular discrepancies (90°, 180° y 270°). The results indicate that the items have high internal consistency ($\alpha = .95$).

Table 1

Descriptive statistics in different angular discrepancy (AD) conditions

AD	Items	Mental Rotation		Response Time	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.
90°	12	.75	.24	4.77	.87
180°	27	.73	.21	5.58	1.02
270°	19	.60	.28	5.79	1.02

Note. MR = Mental Rotation (average of correct answers) and RT = Response Time (seconds) with 90°, 180°, 270°.

One-way within subjects (or repeated measures) ANOVA was conducted to study the effects of angular discrepancy on MR. The ANOVA tested the null hypothesis that the three angular conditions (90°, 180°, 270°) had the same MR population means. Because Mauchly's test indicated that the assumption of sphericity had been violated ($W = .76$, $\chi^2(2) = 244.04$, $p < .001$), the Greenhouse-Geisser correction of F was used ($\varepsilon = .807$). The ANOVA results revealed a significant main effect of angle on MR ($F(1.613, 1437.302) = 251.90$, $MSE = 6.87$, $p < .001$), with an associated effect size of ($\eta_p^2 = .220$). Post hoc comparisons with Bonferroni correction showed significant differences in MR means between the 90° and 180° conditions ($t(891) = 3.43$, $p < .001$, $d = .11$), the 90° and 270° conditions ($t(891) = 17.01$, $p < .001$, $d = .57$), and the 180° and 270° conditions ($t(891) = 19.51$, $p < .001$, $d = .65$).

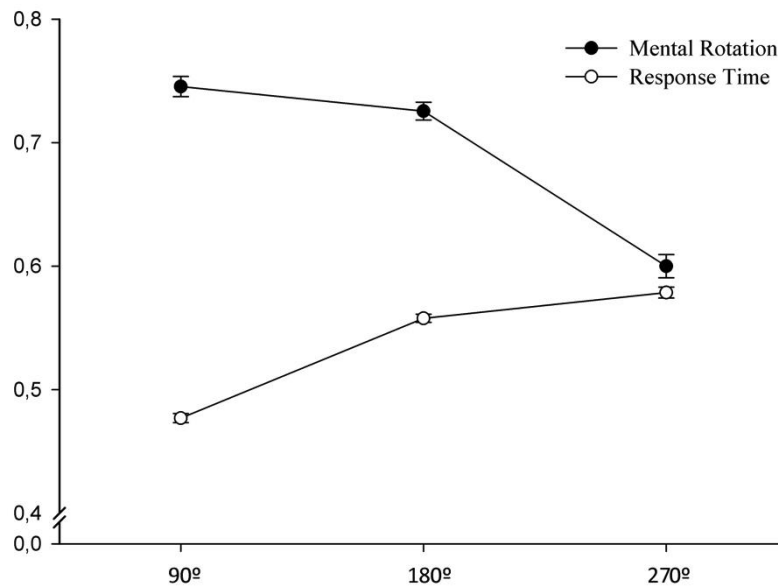


Fig. 4. Mental Rotation (average of the correct answers) and Response Time (seconds/10) in the three AD conditions. Error bars show confidence intervals for marginal means.

These results indicate that participants' MR scores decrease as the angle increases (i.e., the highest scores were obtained in the 90° condition and the lowest in the 270° condition).

Follow-up polynomial contrasts revealed significant linear ($F(1, 891) = 289.27, MSE = 9.429, p < .001$) and quadratic ($F(1, 891) = 145.22, MSE = 1.659, p < .001$) relationships between AD and MR. However, the greater magnitude of the linear effect ($\eta_p^2_{linear} = .245 > \eta_p^2_{quadratic} = .140$) support the linear hypothesis. The same variance analysis tested the response time population means. The participants needed less time to respond to items with 90° than to items with 180°, and less time to respond to items with 180° than to items with 270° of AD (see Figure 4). Polynomial contrasts again support the linear hypothesis.

Table 2 shows the correlations between the MR indexes, the two WM test, Dot Matrix and in the Computation Span, and the general performance index in the dynamic space test.

Table 2
Correlation matrix

	MR 90°	MR 180°	MR 270°	Dot Matrix	Dot Matrix Storage	Dot Matrix Processing	C. Span	C. Span Storage	C. Span Processing
Mental Rotation 90°	-	.000	.000	.000	.001	.028	.069	.445	.094
Mental Rotation 180°	.723**	-	.000	.000	.001	.062	.084	.110	.319
Mental Rotation 270°	.530**	.726**	-	.000	.000	.428	.251	.322	.523
Dot Matrix	.203**	.212**	.219**	-	.000	.000	.000	.000	.000
Dot Matrix Storage	.180**	.191**	.216**	.945**	-	.000	.000	.000	.000
Dot Matrix Processing	.123*	.105	.045	.504**	.194**	-	.046	.111	.005
C. Span	.101	.096	.064	.442**	.449**	.112*	-	.000	.000
C. Span Storage	.043	.090	.056	.398**	.418**	.090	.794**	-	.000
C. Span Processing	.094	.036	.036	.360**	.349**	.158**	.608**	.248**	-

Note. MR = Mental Rotation; Dot Matrix = Visuospatial Working Memory in the dot matrix task; C. Span = Non-visuospatial Working Memory in the Computation Span task; Statistical significance is shown over the diagonal.

According to these results the different indexes of WM do not have the same relation with MR. No2.6y, while the correlations between MR indexes, Computation Span indexes, and the visuospatial processing component are no-significant and range close to zero (.036 to .101),

the correlations between MR indexes and the storage component of Dot Matrix are significant and moderate (.180 to .216). In order to examine whether storage correlations was significantly different between tests, Fisher's r to z' transformation and the standard error formula of z' were used. The findings indicate that the difference between the correlations was significant ($z_{\text{storage}} = 1.74$, $p = .041$). Finally, the relations between visuospatial storage and MR increase as the angle of divergence increases ($r_{90^\circ} = .180$, $r_{180^\circ} = .191$, $r_{270^\circ} = .216$).

In the proposed stepwise linear regression model 3 (see Table 3) the dependent variable Distance in the SODT-R test, is presented as a combination of the three independent variables of the study (the MR obtained in the SODT-R test, the visuospatial WM obtained in the Dot Matrix and the non-visuospatial WM in the Computation Span).

Table 3

Regression analysis for predicting Distance (general spatial dynamic orientation performance)

Model	Variable	β	t	p	R^2	ΔR^2
1	MR	-.525	-11.015	.000	.276	.276
2	MR	-.483	-10.022	.000		
	Dot Matrix	-.175	-3.639	.000	.305	.029
3	MR	-.485	-10.118	.000		
	Dot Matrix	-.128	-2.409	.017		
	C Span	-.105	-2.020	.044	.313	.009

Note. Stepwise method, F to enter, $p \leq .05$.

The linear regression of Distance with the MR and WM tasks was significant, $R^2 = .307$. When all the measures were introduced in the regression model (MR, Dot Matrix and Computation Span), they significantly predicted the general performance of the SODT-R, $\beta = -.485$, $\beta = -.128$, and $\beta = -.105$ respectively. Dot Matrix has an individual prediction of $\Delta R^2 = .029$, while the

incremental validity of Computation Span is close to zero, $\Delta R^2 = .009$. Considering the set of variables, MR is the one with the greatest explanatory β weight in the model. Dot Matrix also contributes to the explanation with a significant value, although with a small ΔR^2 .

Discussion

The basic goal of the study was to test which components and processes of Working Memory (WM) support Mental Rotation (MR) in a dynamic spatial test. To do so, MR was configured and recorded within a dynamic spatial test with different angular discrepancies. Each item requires pressing the corresponding button to guide the moving dot to the final destination. The results show that the measure of MR in the dynamic spatial test (SODT-R) has high reliability. Also, the classical time-accuracy results of Cooper and Shepard are replicated (1973a, 1973b). The response time and the accuracy vary significantly between angular conditions, that is, it is consistent with the metric properties of dynamic items.

Dot Matrix (visuospatial) and Computation Span (non-visuospatial) tasks were chosen to assess WM. In this WM tests, the number of correct answers in the verification tasks (processing), and the number of correct answers in the recalling tasks (storage) were also analyzed. The correlations between the two WM tests and MR vary by the type of component (storage, processing) and the angle magnitude (90°, 180°, 270°), indicating that the visual information is kept in the visuospatial storage component of WM for longer periods as the angle of rotation increased. Also, only the visuospatial storage score shows significant correlations indexes with all measures of MR. No part of Computation Span shows significant or higher relations over the Dot Matrix task with MR indexes. These results are consistent to previous research on different storage domains or components like a visual cache. Specifically, the

generation and maintenance of visual images within a visual buffer is not viewed as a function of the central executive (processing) rather than a possible visual cache and/or spatial transformations in an inner scribe (Baddeley, 2000; Hegarty, Shah & Miyake, 2000; Hyun & Luck, 2007; Logie 1995; Logie & Marchetti 1991; Pearson, Logie & Gilhooly, 1999; Shah & Miyake, 1996). The findings provide partial support to the existence of a specific and active component for visual manipulations, such as rotation, beyond the executive processing control.

Finally, mental rotation is an appropriate predictor of the dynamic spatial performance. The record of a sequence of actions provided by the computerized tests enables accurate analyses of the cognitive processes that take place at any given time during the task. In addition to MR the dynamic spatial test calculated other performance indexes on each item (e.g. Spatial Orientation; Contreras, Martínez-Molina, Manzanero, Peña & Santacreu, 2009). For future developments, dynamic computer-based testing can be a good way to address the lack of visuospatial reasoning batteries (Hunt, 2010, p. 156).

Acknowledgment

The Scientific and Technical Collaboration Agreement AENA-UAM/785005 and the Spanish Ministerio de Educacion y Ciencia, project SEJ2007-64448/PSIC, provided financial support for the present research.

References

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. D. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 567-589.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory, looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4, 829-839.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Colom, R., Contreras, M. J., Botella, J., & Santacreu, J. (2002). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32, 903-912.
- Colom, R., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability with a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19, 92-100.
- Colom, R., Martínez-Molina, A., Shih, P.C., & Santacreu, J. (2010). Working Memory, Fluid Intelligence and Multitasking Performance. *Intelligence, A Multidisciplinary Journal*, 38, 543-551.
- Colom, R., Rebollo, I., Palacios, A., Juan-Espinosa, M., & Kyllonen, P.C. (2004a). Working memory is (almost) perfectly predicted by *g*. *Intelligence*, 32, 277-296.
- Colom, R., & Shih, P. C. (2004b). Is working memory fractionated onto different components of intelligence? A reply to mackintosh and bennett (2003). *Intelligence*, 32, 431-444.
- Contreras, M. J., Colom, R., Hernández, J. M., & Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis. *Journal of General Psychology*, 130, 277-288.

- Contreras, M.J., Martínez-Molina, A., Manzanero, A., Peña, D. y Santacreu, J. (2009). ¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica? *Anales de Psicología*, 25, 351-357.
- Contreras, M. J., Rubio, V. J., Peña, D., Colom, R., & Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: The unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, 35, 297-303.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1973a). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W.G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp. 75-176). New York: Academic Press.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973b). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory & Cognition*, 1, 246-250.
- D'Oliveira, T. (2004). Dynamic spatial ability: an exploratory analysis and a confirmatory study. *The International Journal of Aviation Psychology*, 14, 19-38.
- Hegarty, M., Shah, P., & Miyake, A. (2000). Constraints on using the dual-task methodology to specify the degree of central executive involvement in cognitive tasks. *Memory & Cognition*, 28, 376-385.
- Hunt, E. (2010). *Human Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hyun, J.S., & Luck, S.J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 154-158.
- Klauer, K. C., & Zhao, Z. (2004). Double Dissociations in Visual and Spatial Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 355-381.
- Kosslyn, S. M., Brunn, J., Cave, K. R., & Wallach, R. W. (1984). Individual differences in mental imagery ability: A computational analysis. *Cognition. Special Issue: Visual Cognition*, 18, 195-243.

- Larson, G. E. (1996). Mental rotation of static and dynamic figures. *Perception & Psychophysics*, 58, 153-159.
- Law, D. J., Pellegrino, J. W., & Hunt, E. B. (1993). Comparing the tortoise and the hare: Gender differences and experience in dynamic spatial reasoning tasks. *Psychological Science*, 4, 35-40.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Logie, R. H., y Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? En R. H. Logie y M. Denis (Eds.), *Mental images in human cognition*. Amsterdam: North Holland Press.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *J.Exp.Psychol.: Gen.*, 130, 621-640.
- Mumaw, R. J., Pellegrino, J. W., Kail, R. V., & Carter, P. (1984). Different slopes for different folks: Process analysis of spatial aptitude. *Memory & Cognition*, 12, 515-521.
- Pearson, D.G. (2001). Imagery and the visuo-spatial sketchpad. In J. Andrade (Ed.), *Working Memory in Perspective*. Hove: The Psychology Press.
- Pearson, D.G., Logie, R.H., & Gilhooly, K.J. (1999). Verbal representations and spatial manipulation during mental synthesis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11, 295-314.
- Pellegrino, J. W., & Hunt, E. B. (1989). Computer-controlled assessment of static and dynamic spatial reasoning. In R. F. Dillon, & J. W. Pellegrino (Eds.), *Testing: Theoretical and applied perspectives*. (pp. 174-198). New York, NY, England: Praeger Publishers.

- Pellegrino, J. W., Hunt, E. B., Abate, R., & Farr, S. (1987). A computer-based test battery for the assessment of static and dynamic spatial reasoning abilities. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 19, 231-236.
- Peña, D., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2008). Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychologica*, 128, 1-14.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., & Jackson, M. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28, 39-58.
- Prieto, G., Carro, J., Pulido, R. F., & Orgaz, B. (1992). RE.1: Un test computarizado para la evaluación de las relaciones espaciales simples. / RE.1: A computerized test for the evaluation of simple spatial behavior. *Cognitiva*, 4, 209-226.
- Santacreu, J. (1999). SODT-R and SVDT-R. Dynamic computerized test for the assessment of spatial ability (revised versions). Technical Report. Madrid: Autonomous University of Madrid.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4-27.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.

- Thurstone, L. L. (1948). Minnesota Paper Form Board Test. New York: Psychological Corporation.
- Wickens, C. D., Vincow, M., & Yeh, M. (2005). Design applications of visual spatial thinking: The importance of frame of reference. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*. (pp. 383-425). New York, NY, US: Cambridge University Press.

- 2.4. **Martínez-Molina, A.**, Ruiz. M.A., Contreras M.J., Shih, P.C., y Santacreu, J. (Under Review). Looking for a psychological explanation for the spatial performance: Testing an invariant structure model between sexes. *Journal of Applied Psychology*.

Looking for a psychological explanation for the spatial performance: Testing an invariant structure model between sexes

Martínez-Molina, A., Ruiz, M.A., Contreras M.J., Shih, P.C., & Santacreu, J.

Abstract

There is a large amount of studies concerning the spatial abilities of men and women; however it is an open issue among researchers. The general results support that the average visuospatial abilities of males outperform females, and these differences have the largest effect sizes in published Psychology. Nevertheless, these results do not support that females cannot perform at the same level as males in visuospatial tests. At present there is not a battery that assesses visuospatial thinking. In this study a single dynamic spatial test, which assesses three visuospatial variables, is proposed (Spatial Orientation, Mental Rotation and Time Management). The results continue to show large effect sizes in all indicators. However, the gender variable has a negligible predictive value. A performance model composed with the visuospatial variables explains a high proportion of the spatial factor's variability ($R^2 = 0.853$) even when some structural parameters are restricted to be equal for males and females. Dynamic computer-based spatial tests are a valid and reliable alternative to the comprehensive assessment of visuospatial abilities.

Key words: sex differences; spatial ability; spatial dynamic test; invariance test;

Buscando una explicación psicológica del rendimiento espacial: Un análisis de invarianza estructural entre sexos

Martínez-Molina, A., Ruiz. M.A., Contreras M.J., Shih, P.C., y Santacreu, J.

Resumen

Aunque se ha tratado ampliamente el estudio de las diferencias de aptitud espacial entre sexos, ésta sigue siendo una cuestión abierta. Los resultados informan de los mayores tamaños de efecto publicados en Psicología apoyando un rendimiento promedio mayor en los hombres. Esta diferencia conlleva un menor número de mujeres en niveles altos de aptitud viso-espacial, pero no que no puedan rendir a esos niveles o que las diferencias se mantengan para otros parámetros (varianzas, covarianzas, pesos de regresión, varianzas de los errores, etc.). Ante la carencia de baterías que evalúen el pensamiento viso-espacial, se propone el estudio conjunto de tres variables viso-espaciales (Orientación, Rotación Mental y Planificación) en un único test espacial dinámico. Los resultados continúan mostrando grandes tamaños de efecto en todos los indicadores, sin embargo, la variable sexo tiene un valor predictivo reducido. Un mismo modelo de rendimiento espacial compuesto por las tres variables viso-espaciales explica una alta cantidad de varianza del factor espacial ($R^2 = 0,853$) incluso cuando parte de los parámetros estructurales se restringen para que sean iguales entre hombres y mujeres. Las pruebas espaciales dinámicas informatizadas son una alternativa válida y fiable para la evaluación integral de la aptitud viso-espacial.

Palabras clave: diferencias de sexo; aptitud espacial; test espacial dinámico; análisis de invarianza estructural

Introduction

Visuospatial abilities are an interesting field of study due to several reasons: their close relationship with the general factor of intelligence, their power to predict school and job performance, their consistency along the lifespan and the replicability of results (Carroll, 1993; Lohman, Pellegrino, Alderton, & Regian, 1987; Smith, 1964). Despite their relevance, test batteries are not usually utilized to assess visuospatial abilities except when specific tests are included as part of pilots' or air traffic controllers' personnel selection processes (Hunt, 2010). This fact highlights the existing lack of agreement that exists regarding the theoretical definition of these abilities (Tversky, 2005), the complexity that entails classifying them (Carroll, 1993) and the impossibility of assessing some visuospatial components through dynamic tests on the 20th century (Contreras, Colom, Hernández y Santacreu, 2003).

Another important issue that should be addressed is the sex differences that arise in classic and computerized tests performance in favor of males. In fact, these differences are among the largest within psychology research (Halpern, 2000; Halpern & Collaer, 2005) when the standardized size effect is used to compare them (Cohen, 1968).

But, in which variables do we find these differences? Generally, the accuracy and the response time in visuospatial tasks are the two variables that show consistent sex differences. An example would be those tasks that involve Mental Rotation, which has been proposed as a key process in spatial ability but also in general Intelligence (Johnson & Bouchard, 2005). The response time and the accuracy displayed suggest that individuals perform the metal rotation of the images as if they were actually rotating them physically (Logia, 1995; Shepard & Cooper, 1982). The study of Mental Rotation through these measures has shown large size effects

between males and females, close to one standard deviation unit (Masters & Sanders, 1993; Nordvik & Amponsah, 1998; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995).

The sex differences that emerge in rotation tasks may decrease when individuals improve their performance through extended training (Kyllonen, Lohman, & Snow, 1984). When individuals repeat the task and contingent feedback is given about their execution, an improvement is observed on their performance in spatial ability tasks (Contreras, Martínez-Molina, Manzanero, Peña, & Santacreu, 2009). These results suggest that these variables have a relationship with the subjects' learning process and they may reduce the differences found between groups. However, other studies have shown that, when individuals are trained in complex rotation tasks that involve objects of two and three dimensions, their time response becomes faster but not more accurate (Lohman, 1988; Neubauer, Bergner, & Schatz, 2010).

The evolutionary theory of hunters-harvesters, which has also reached some importance in the last years, is partially supported by the universality of the differences found between males and females in a study conducted in forty countries (Silverman, Choi, & Peters, 2007; Silverman & Eals, 1992). The differences in visuospatial tasks can be explained through the segregated distribution of tasks, which took place during the Pleistocene geologic era (about 1.8 million years ago). Men mainly hunted, travelling several days and/or crossing long distances, while the majority of women harvested food in fixed locations.

In the last decade it has been explored whether certain factors, which are not directly related to spatial abilities, could explain why women display a lower performance. This is the case of execution factors, which have also been examined through dynamic spatial tests. In order to test this hypothesis a previous study utilized the Spatial Orientation Dynamic Test-Revised (SODT-R), which was validated using a test battery that included reasoning and classic spatial

tasks. The results showed that the SODT-R was an appropriate instrument for assessing the general spatial ability Gv (Carroll, 1993, Colom, Contreras, Shih, & Santacreu, 2003; Colom, Martínez-Molina, Shih, & Santacreu, 2010). In general, dynamic spatial tasks entail the succession of stimuli whose spatial properties change over time, that is, they are in motion. Contreras, Rubio, Peña, Colom and Santacreu (2007) showed that men and women performed differently in this dynamic spatial task: 1) men showed larger response latency than women, 2) they needed less keystrokes in order to accomplish the task, and 3) they completed the task faster. Moreover, males performed better in this task even when controlling for the covariation of the execution factors. These results were congruent with those obtained with printed tests in previous studies, which neither could explain the sex differences in performance through execution factors such as the “guessing tendency” (Prieto & Delgado, 1996).

The use of strategies or different ways of organizing and executing the processes that visuospatial tasks involve has also been related to the differential sex performance in the navigation or map interpretation tasks (Cooper & Mumaw, 1985). Peña, Contreras, Shih and Santacreu (2008) analyzed the relationship between Behavior Styles or Strategies and the performance in spatial tasks, as well as their relationship with the sex differences observed in the SODT-R (Contreras, Colom, Shih, Álava, & Santacreu, 2001). In particular, Peña et al. (2008) examined the relationship between three different SODT-R solution Strategies and: a) three task execution variables (time, frequency and response speed) and b) three intelligence tests (general, verbal and spatial). They isolated three strategies that were congruent with the previous literature on the topic (Segmented, Planned Holistic and Feedback Dependent Holistic). When men and women used the same Planned Holistic strategy, the average difference in orientation between sexes disappeared: the sex differences remained when the

participants used other strategies. These results are coherent with those reported by Casey, Brabeck and Ludlow (1986) and Casey, Nuttall, Pezaris and Benbow (1995). When males and females use effective strategies, sex differences are considerably reduced. These results could explain why sex differences remain when participants use less effective strategies (analytic or non-spatial), helping to understand not only the way in which the task is done, but also which processes are significant to the task performance.

Despite the manifest sex differences on visuospatial variables, the key factors, which could help understand them, are still unknown. Based on contrast analyses and size effects, the aforementioned results support that men perform better than women. These findings indicate that there is a larger amount of men scoring high in this ability tests, but women can also display high visuospatial abilities (Halpern & Collaer, 2005).

From this approach, more information could be gathered if we consider all the variables involved in spatial performance along with other statistical parameters. For instance, sex differences in visuospatial tasks can be observed in the average behavior, but they could also emerge in the variance differences between females and males. Traditionally, males' performance shows a characteristic distribution with a larger amount of cases at the top and the bottom and thus with a higher variance than women (Hedges & Nowell, 1995). It is evident that carrying out complementary analyses using measures as the variance, the position, the relationship, etc., will help us achieve a comprehensive understanding of sex differences in spatial ability.

Present study

The present study aims to assess simultaneously three visuospatial factors (Orientation, Mental Rotation and Planning) through a single dynamic spatial test. The main objective is: 1) to

test the predictive value of a cognitive model about the spatial ability with a dynamic task, 2) to explore whether the gender variable has an influence on the criterion variable of the model, 3) to examine if there are sex differences on the mean, but also on other parameters of the model (variance, covariance, regression weights and/or residuals). If the proposed model would not change and there were no sex differences in any of the analyzed parameters, the resulting model could explain visuospatial performance regardless of the sex.

Method

Participants

In this study, the participants were 464 (127 females and 337 males) candidates of a selection process applying for a highly technical job. Their mean age was 29 (SD = 3.74). All applicants were university graduates but from different educational areas (Engineering, 44%; Social sciences, 24.1%; Natural sciences, 13.6%; Humanities, 10.6%; Health 2.8%; other, 5%). Participants were not recruited for this study and they applied voluntarily for the job. Before the process, they were screened for medical status according to Euro-Control Safety Regulatory Requirements (ESARR 5).

Measures

The Spatial Orientation Dynamic test 2.0 (based in the SODT-R; Santacreu, 1999) was initially modeled after the actual air traffic control radars. Two different colored dots appear in unexpected initial positions on the computer screen (see Figure 1). Both dots are located at the same distance from the target, but they have a predetermined 90°, 180° or 270 ° angular discrepancies with the correct course. The dots move at a constant speed during 25 s. Each dot has a control panel on the top of the screen. This panel has two boxes with arrows for modifying

the dots course. This course must be adjusted by pressing on the arrows orienting the dots towards the target as fast as possible. The task has been widely discussed by Contreras et al., 2007. This version (2.0) allows obtaining data on Mental Rotation (MR), on Spatial Orientation (SO) and on Time Management (TM) for each task.

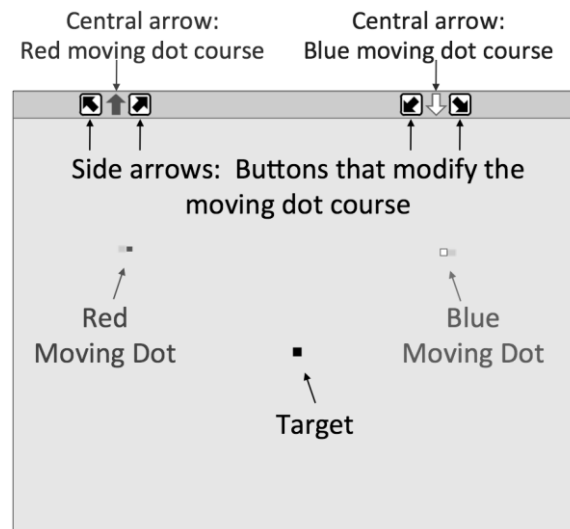


Fig. 1. Spatial Orientation Dynamic Test (SODT 2.0).

The test is comprised of 31 trials of 25 s each one. The first two trials are used only for training purposes. The last 29 are the evaluation trials ($29 \times 2 = 58$ moving dots), from which the indexes explained below are calculated. In previous studies with the SODT internal consistency indexes ranged around .9 for the SO variable (e.g. Contreras et al. 2007); from .9 to .95 for the DIST variable and of .92 for the MR variable (Martínez-Molina, 2008; Peña et al., 2008). The test provides four indexes:

- Distance is a good measure of general spatial ability (Gv) (Colom et al., 2003). It's expressed in pixels from each one of the dots to the target at the end of each trial. It is considered a variable dependent of the other three that the test provides.

- The Mental Rotation (MR) score depends on the participant's first click on the buttons that correct the course of each of the two moving dots. MR is to reduce the angular discrepancy between the course of the moving dot and the course necessary to reach the target, but considering their relationship with the orientation of the arrow button on the panel control. If this first click moves both dots away from the target, the score is 0. If this first click only moves one of the dots closer to the target, then the score is 0.5 and if the first click moves both dots towards the target, then the score is 1.

- Spatial Orientation (SO) is the deviation in grades at the end of the item between the course of the dot and the correct course towards the target. SO is the mean deviation for each moving dot in the complete set of trials. If deviation is equal 0° , the moving dot is on the correct direct course to the target.

- Time Management (TM) is expressed in seconds and it corresponds to the moment in which the individual, after modifying the course of the first dot, starts to modify the second dot. During the 25 s of the trial, the participants must manage their time to correct efficiently the course of both dots. Otherwise while one of the dots moves towards the target, the other, maintaining its original course, will move away from the target.

Analysis

The descriptive, position, variability, distribution and relation statistics were calculated for the whole sample and separately for both sexes (see Table 1). The independent t-tests were also calculated between groups (males and females) for all indexes (TM, MR, SO and Gv).

To meet the first objective of the study, we performed a stepwise multiple linear regression analysis (MLR) using the three spatial measures as independent variables and

Distance (Gv) as the criterion variable. In addition, and according to the second objective of the study, gender was also included as an independent variable in the MLR model to estimate its relative weight. The gender variable was dummy coded (0 = male, 1 = female). The magnitude of the b regression weight assigned in the analysis to the gender variable is understood as the magnitude of change in the slope of the female group compared to the male group (Gujarati, 1988). This procedure allows the use of a nominal variable as an interval variable in order to estimate its contribution to the predictive model. The estimated model can be represented by the following equation (S is the dummy coded variable):

$$Gv_i = b_0 + b_1 \cdot MR_i + b_2 \cdot SO_i + b_3 \cdot TM_i + b_4 \cdot S_i + e_i$$

Similarly, a MLR was also performed including the effect of gender on the overall slope of the regression plane. The result is a coefficient for the mean change in each predictor variable. The estimated model can be represented by the following equation:

$$Gv_i = b_0 + b_1 \cdot MR_i + b_2 \cdot SO_i + b_3 \cdot TM_i + b_4 \cdot S_i + b_5 \cdot S_i MR_i + b_6 \cdot S_i SO_i + b_7 \cdot S_i TM_i + e_i$$

To achieve our third objective, an analysis of structural invariance was performed. The ordinary linear regression model provides estimates of the regression coefficients that can be affected by collinearity among the variables. SEM models do not have this limitation because the observed variables can be correlated. The analysis of structural invariance compares the fit indexes between nested structural equation models. The general strategy of this analysis is to compare increasingly restrictive models departing from a baseline model with only those restrictions necessary to make the model identifiable (unconstrained model). From this initial model, placing restrictions on its parameters creates nested models. This strategy is useful to determine whether the model parameters are the same (there is invariance) in two or more groups of subjects.

The present invariance analysis focuses on the equivalence of the causal structure of the model between females and males, that is, it aims to determine whether a single structure fits the data of both groups approximately equally well. Figure 2 shows the proposed structural model with the analyzed parameters to be analyzed: variances, covariances, means, regression weights and residuals.

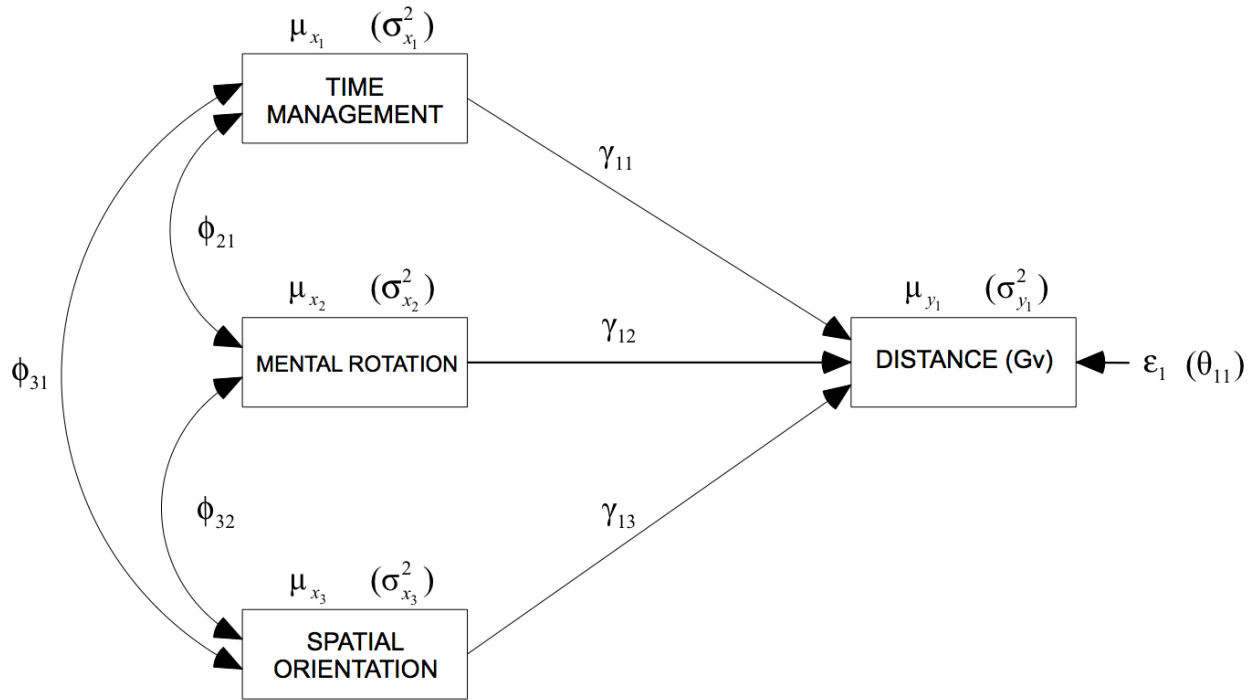


Fig. 2. Structural model to predict Gv. The parameters of the invariance analysis are represented by their corresponding greek letters: (covariances= ϕ ; regression weights = γ ; means = μ ; variances= σ^2 ; residuals = θ_{11}).

The base model (Model 1, see table 1) compares both variance-covariance matrices estimated separately for each group. In order to obtain a fit for the baseline model it was necessary to constrain to zero the covariance between TM and MR ($\phi_{12} = 0$). By doing this, the model becomes overidentified with two degrees of freedom and the initial fit indexes can be computed. The next steps gradually add equality constraints on the parameters between groups, i.e. structural weights on the Model 2; and then similarly with the residuals (Model 3); next with

the covariances (Model 4); variances (Model 5); and finally the means (Model 6). The sequence of hierarchical models in Table 3 is defined by two criteria. First, for theoretical and empirical reasons we could not assume that the variances and group means were equal. These restrictions were imposed in the last models. Second, the models were placed in descending order of individual fit. The analysis is progressive, sequential and hierarchical, starting with an unconstrained model. From the initial model we compare the goodness of fit of each new nested model. The procedure ends when a model shows unacceptable fit.

The core goodness of fit index is Chi-square (χ^2), which may be used to formally test the discrepancy in fit between two nested models. RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) is a goodness of fit index that takes into account the sample size and the number of parameters. Values lower than 0.10 or preferably 0.08 are acceptable. The incremental goodness of fit indexes IFC and the TLI should be close to 1. Generally these indexes have to be larger than the 0.90 reference value to indicate a good fit.

Results

Table 1 shows the descriptive statistics and correlations between the variables obtained in the SODT 2.0, for the total sample and by sex groups separately. The table also reports the t-test between sexes complemented with the estimate of effect size (Cohen's *d*). Finally, the reliability obtained in this study (Cronbach's Alpha) is also included. The differences and the effect sizes are in favor of men in all visouspatial variables. Effect sizes are medium or large. In addition, groups are heterocedastics in SO ($F = 12.2$; $p = 0.001$) and TM ($F = 6.98$; $p = 0.009$).

Table 1

Descriptive statistics and correlation matrix

	TIME MANAGEMENT (TM)			MENTAL ROTATION (MR)			SPATIAL ORIENTATION (SO)			DISTANCE (Gv)		
	Total	Female	Male	Total	Female	Male	Total	Female	Male	Total	Female	Male
TM	-	-	-									
MR	-.058	.178*	-.046	-	-	-						
SO	.256**	.153**	.164**	-.307**	-.334**	-.231**	-	-	-			
Gv	.709**	.611**	.692**	-.529**	-.450**	-.531**	.621**	.619**	.524**	-	-	-
N	464	127	337	464	127	337	464	127	337	464	127	337
Mean	7927.77	8547.30	7694.30	0.72	0.66	0.75	532.16	615.23	500.86	16663.32	17466.54	16036.63
Dif. sex	$t(462) = -7.04; p \leq .001; d = 0.735$			$t(462) = 4.11; p \leq .001; d = 0.429$			$t(462) = -6.81; p \leq .001; d = 0.711$			$t(462) = -10.34; p \leq .001; d = 1.079$		
SD	1136.53	1216.79	1012.42	0.21	0.21	0.21	148.62	173.04	124.97	1138.86	1135.80	983.73
Min	5907.27	6501.13	5907.27	0.27	0.27	0.29	270.06	330.99	270.06	14078.52	14546.33	14078.52
Max	11727.00	11727.00	11241.40	1	1	1	1189.66	1189.66	969.40	20549.94	20549.94	18936.80
Skewness	0.80	0.68	0.75	-0.20	0.27	-0.38	1.25	1.15	0.99	0.41	0.25	0.25
Kurtosis	0.40	-0.15	0.27	-1.43	-1.33	-1.30	2.33	1.38	1.40	-0.07	-0.14	-0.55
α	.92			.95			.92			.95		

Note. TIME MANAGEMENT (TM)= average of time (ms) to control the two moving dots; MENTAL ROTATION (RM)= proportion of initials clicks to reduce the angular discrepancy between the course of the moving dot and the course necessary to reach the target; SPATIAL ORIENTACIÓN (SO)= degree average at the end of the item between the course of the dot and the correct course towards the target; DISTANCE (Gv)= average of pixels from each one of the dots to the target at the end of each trial; Dif. Sex = independent t-test between sexes and Cohen's d effect size.

Table 2

Summary of the linear regression models to predict Distance (general spatial ability; Gv)

Model	Variable	β	t	p	R^2	ΔR^2
1	TM	.605	32.618	.001	.853	.100
	MR	-.399	-21.181	.001		
	SO	.343	17.627	.001		
2	TM	.592	30.837	.001	.854	.001
	MR	-.394	-20.909	.001		
	SO	.332	16.615	.001		
	sex	.047	2.384	.018		
3	TM	.600	25.190	.000	.855	.001
	MR	-.377	-17.191	.000		
	SO	.333	12.836	.000		
	sex	.193	1.270	.205		
	sex \times TM	-.042	-.301	.764		
	sex \times MR	-.092	-1.418	.157		
	sex \times SO	-.019	-.242	.809		

Note. Stepwise method criteria (F): entry ($p \leq 0.05$), removal ($p \leq 0.10$)

The variances were not significantly different in Gv ($F = 1.8$, $p = 0.175$) and were homocedastics in MR ($F = 0.02$; $p = 0.967$). General estimations of the correlations between MR and SO were moderate to high (from 0.231 to 0.692), however, both were close to zero with TM (- 0.046 to 0.178). Although the correlations described were almost zero between TM and MR, both variables have high relations with Gv (dependent variable).

Table 2 summarizes the analysis of three multiple linear regression models. The models comply with the assumptions of independence between observations (Durbin-Watson ≈ 2.181), homoscedasticity (residuals with no linear relationship, $R^2 = 0$) and multicollinearity (Tolerance ≥ 0.797 and Inflation Factors ≥ 1.119).

In the model 1, TM has the greater weight (0.605) followed with similar β values for Mental rotation (-0.399) and SO (0.343). In the second model, the gender variable contributes to the prediction with a significant value but with an incremental fit ΔR^2 close to zero (0.001). The interaction of gender with the other predictor variables has no significant effects. These results suggest that the effect of gender variable is not in its individual predictive capacity rather than a change in the mean of the predictive variables, corresponding to a lower average in the female group.

Table 3 presents a sequential summary of the invariance analysis for the proposed models. Model 1 in the table starts without equality constraints across groups. The following models added constraints on regression weights (Model 2), then on the residuals (Model 3), covariances (Model 4), variances (Model 5) and finally on the means (Model 6). The described misfit increases progressively as with the increase in the equality constraints between models.

According to the goodness of fit indexes (χ^2 , CFI, TLI) and error indexes (RMSEA), their magnitudes are acceptable for models 1, 2, 3 and 4, and to a lesser degree in Model 5, supporting the invariance or equivalence between sexes of regression weights, residuals, covariances and variances. However, the gap was significant when comparing the mean equality constraint (model 5) and equal variances (model 4) for model 2. Equality constraints on the mean values results in an unacceptable degree of fit for Model 6 (RMSEA = 0.140). Out of all the proposed models, the guidelines recommend Model 4 (see Figure 3, regression weights, residuals and covariances constrained). As showed in MLR model, the proportion of explained variance in both groups is high. R^2 values vary from 0.824 to 0.864 in women and from 0.804 to 0.844 in men.

Table 3

Model fit summary of the invariance analysis between sexes of the confirmatory linear regression model

<i>Model</i>	<i>Model description</i>	<i>Compared model</i>	χ^2	<i>df</i>	χ^2/df	$\Delta\chi^2$	Δdf	$\Delta\chi^2/df$	<i>Probability</i>	<i>CFI</i>	<i>TLI</i>	<i>RMSEA</i>	R^2_{female}	R^2_{male}
1.	Unconstrained		4.78	2	2.39				$p = .092$	.997	.980	.055	.839	.819
2.	Structural weights constrained	Model 1	6.82	5	1.36	2.04	3	.41	$p = .235$	.998	.995	.028	.833	.820
3.	Structural weights and structural residuals constrained	Model 2	12.64	6	2.11	5.82	1	.97	$p = .049$	.992	.984	.049	.864	.804
4.	Structural weights, structural residuals and structural covariances constrained	Model 3	18.70	8	2.34	6.06	2	.76	$p < .017$	.987	.981	.054	.843	.811
5.	Structural weights, structural residuals, structural covariances and structural variances constrained	Model 4	41.39	11	3.76	22.69	3	2.06	$P < .001$	.964	.961	.077	.824	.824
6.	Structural weights, structural residuals, structural covariances structural variances and structural means constrained	Model 5	140.75	14	10.05	99.36	3	7.10	$p < .001$	.849	.871	.140	.844	.844

Note. In the initial unconstrained model, the covariances between Mental Rotation and Time Management were fixed to zero in order to obtain fit indexes.

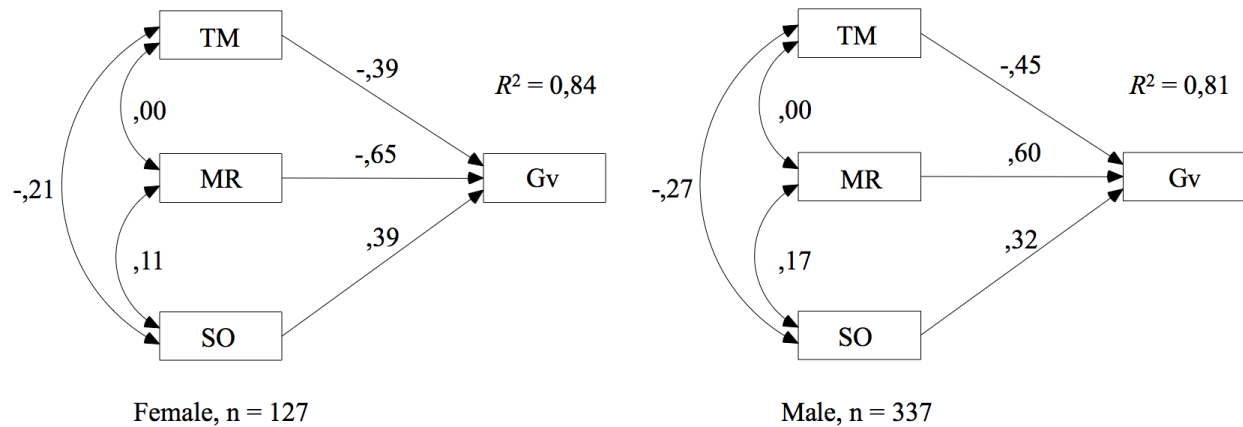


Fig. 3. Estimated multiple linear regression models (model 4) for each sex group. Structural weights, structural residuals and structural covariances are constrained to be equal between sexes. RMSEA = 0.054.

Discussion

The aim of the present research was to obtain for the first time, three visual-spatial indexes within a dynamic spatial task. Spatial Orientation, Mental Rotation and Time Management showed high reliability indexes (≥ 0.92). These results suggest that the dynamic computerized tests are a comprehensive evaluation of the visual-spatial abilities (Glück, Quaiser-Pohl & Neubaer, 2010).

The current knowledge about this kind of computerized tasks, allows us to develop models with high predictive value on the general spatial performance in a dynamic test. The presented model can be used to explain a remarkable proportion of variance of Gv ($R^2 = 0.854$). The variables Time Management, Mental Rotation and Spatial Orientation, are complementary in order to explain the general performance of the SODT 2.0 (Distance). The participant has to carry out all aspects of the test: to resolve correctly the angular discrepancies of items (MR), to direct the moving dot with the lowest possible deviation (SO) and controlling the time available to guide the two moving dots (TM).

On the other hand, the differences in mean in favor of men in all the variables of visual-spatial performance are replicated, and also in the magnitude of the effect sizes (0,429 to 1,079) (Halpern, 2000; Halpern y Collaer, 2005). However, in the proposed model, the gender variable and its interactions have a non-significant predictive value.

The analysis of structural invariance supports the use of the present model for both groups even when some parameters (regression weights, covariances and residuals) are restricted to be equal for males and females. Differences are focused mainly on means and partially in the variances. This group effect indicates a greater number of men in higher levels of ability. However any subject regardless of gender can obtain high spatial scores. These results moderate some assumptions of the hunter-gatherers theory of Silverman, Choi and Peters (2007) where they suggest qualitative distinctions between the sexes (men yes, women do not), rather than the hypothesis that the ability levels are quantitatively different.

In this research, the psychological explanation of the general spatial ability is defined by processes and constructs rather than a nominal variable such as gender. The explanatory power of the visuospatial variables proposed in this research, suggest that these variables can be used to explain the spatial performance in other contexts. Dynamic computer-based spatial tests are a valid and reliable alternative to the comprehensive assessment of visuospatial abilities.

References

- Carroll, J.B. (1993). *Human cognitive Abilities: A survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Casey, M.B., Brabeck, M.M. & Ludlow, L.H. (1986). Familial handedness and its relation to spatial ability following strategy instruction. *Intelligence*, 10, 389-406.
- Casey, M. B., Nuttall, R., Pezaris, E., & Benbow, C. P. (1995). The influence of spatial ability on gender differences in mathematics college entrance test scores across diverse samples. *Developmental Psychology*, 31, 697-70.
- Cohen, J. (1968). Multiple regression as a general data-analytic system. *Psychological Bulletin*, 70, 426-443.
- Colom, R., Contreras, M. J., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability with a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19, 92-100.
- Colom, R., Martínez-Molina, A., Shih, P.C., & Santacreu, J. (2010). Working Memory, Fluid Intelligence and Multitasking Performance. *Intelligence, A Multidisciplinary Journal*, 38, 543-551.
- Contreras, M. J., Colom, R., Hernández, J. M., & Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis. *Journal of General Psychology*, 130, 277-288.
- Contreras, M. J., Colom, R., Shih, P. C., Álava, M.J., & Santacreu, J. (2001). Dynamic spatial performance: Sex and educational differences. *Personality and Individual Differences*, 30, 117-126.
- Contreras, M.J., Martínez-Molina, A., Manzanero, A., Peña, D. y Santacreu, J. (2009). ¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica? *Anales de Psicología*, 25, 351-357.

- Contreras, M. J., Rubio, V. J., Peña, D., Colom, R., & Santacreu, J. (2007). Sex differences in dynamic spatial ability: The unsolved question of performance factors. *Memory & Cognition*, 35, 297-303.
- Cooper, L. A. and Mumaw, R. (1985) Human spatial aptitude. In R. Dillon and R. Schmitt (Eds.), *Individual differences in cognitive processes*. New York: Academic Press.
- Glück, J., Quaiser-Pohl, C., & Neubauer, A. C. (2010). New approaches to studying individual differences in spatial abilities. *Journal of Individual Differences*, 31, 2010, 57-58.
- Gujarati, D. N. (1988). *Basic Econometrics* (2nd Ed). Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Hedges, L. V., & Nowell, A. (1995). Sex-differences in mental test-scores, variability, and numbers of high-scoring individuals. *Science*, 269, 41-45.
- Halpern, D. F. (2000). *Sex differences in cognitive abilities* (3rd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Halpern, D. F., & Collaer, M. L. (2005). *Sex Differences in Visuospatial Abilities: More Than Meets the Eye*. En P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* Cambridge University Press (pp- 170-212).
- Hunt, E. (2010). *Human Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson, W. & Bouchard, T. J., Jr. (2005). The structure of human intelligence: It's verbal, perceptual, and image rotation (VPR), not fluid and crystallized. *Intelligence*, 33, 393-416.
- Kyllonen, P. C.; Lohman, D. F & Snow, R. E. (1984). Effects of aptitudes, strategy training, and task facets on spatial task performance. *Journal of Educational Psychology*, 76, 130-145.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Lohman, D (1988). Spatial abilities as a traits, processes and knowledge. En R.J. Sternberg (ed.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, vol. 4. Hillsdale, Nueva Jersey: LEA.
- Lohman, D.F., Pellegrino, J. W., Alderton, D.L., & Regian, J.W. (1987). Dimensions and components of individual differences in spatial abilities. En S.H.Irvine & S.N. News(Eds.), *Intelligence and cognition: Contemporary frames of reference* (pp. 253-312). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Martínez-Molina, A. (2008). Rotación mental en pruebas de aptitud espacial dinámica: SDT 2.0 . Trabajo presentado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados en el programa de “Ciencia de la Conducta”. Departamento de Psicología Biológica y de la Salud, UAM.
- Masters, M.S. & Sanders, B. (1993). Is the gender difference in mental rotation disappearing? *Behavior Genetics*, 23, 337-341.
- Neubauer, A.C., Bergner, S. & Schatz, M. (2010). Two- vs. three-dimensional presentation of mental rotation tasks: Sex differences and effects of training on performance and brain activation. *Intelligence*, 38, 529-539.
- Nordvik, H. & Amponsah; B. (1998). Gender differences in spatial abilities and spatial activity among university students in an egalitarian educational system. *Sex Roles. A Journal of Research*, 38, 1009-1024.
- Peña, D., Contreras, M.J., Shih, P.C., & Santacreu, J. (2008). Solution Strategies as Possible Explanations of Individual and Sex Differences in a Dynamic Spatial Task. *Acta Psychologica*, 128, 1-14.
- Prieto, G. y Delgado, A.R. (1996). Construcción de ítems. En J. Muñiz (Ed.), *Psicometría*. Madrid: Universitas.

- Santacreu, J. (1999). SODT-R and SVDT-R. Dynamic computerized test for the assessment of spatial ability (revised versions). Technical Report. Madrid: Autonomous University of Madrid.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Silverman, I., Choi, J., & Peters, M. (2007). The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, 36, 261-268.
- Silverman, I., & Eals, M. (1992). Sex differences in spatial abilities: Evolutionary theory and data. In J. H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 531–549). New York: Oxford Press.
- Smith, I.M. (1964). *Spatial ability: its educational and social significance*. London: University of London.
- Tversky, B. (2005). "Visuospatial reasoning". Chapter 10 in K. Holyoak and R. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.

CAPÍTULO III: *Conclusiones, discusión y líneas futuras de investigación*

En palabras de Earl Hunt (2010), en los últimos 100 años de estudio sobre la inteligencia humana, el progreso ha venido de la mano de eventos históricos o tecnológicos: la aplicación de tests durante la primera guerra mundial, el desarrollo de técnicas matemáticas, y el uso de los ordenadores. La investigación científica informatizada sobre el estudio de las aptitudes viso-espaciales aun es joven, pero tiene la suficiente madurez como para plantear trabajos como el desarrollado esta tesis.

Los trabajos que se han ido presentando han contribuido a la elaboración de una explicación psicológica sobre el rendimiento viso-espacial en contextos dinámicos. La elaboración del modelo ha sido poco a poco desarrollada durante los trabajos empíricos. El resultado es, además de un análisis de las diferencias de rendimiento individual, una explicación de carácter general, es decir, de cómo diferentes procesos desarrollados en los trabajos empíricos dan cuenta del problema último de investigación: la aptitud viso-espacial.

Podemos clasificar las aportaciones de la tesis en dos grupos. Primero teóricas, sobre los procesos y constructos que subyacen a la realización de las tareas viso-espaciales dinámicas: Feedback, Memoria de trabajo, Rotación Mental, Planificación y Orientación. Y en segundo lugar aplicadas, dado que de todos los procesos tratados se han elaborado indicadores que pueden ser utilizados por ejemplo en otros contextos de investigación, educativos o de evaluación en selección de personal. Como se pudo ver en el primer artículo, el feedback y en menor medida la práctica, influían en el rendimiento viso-espacial tras el control morfológico de las imágenes. En este sentido, distintos grados de feedback o práctica podrían utilizarse para

entrenar o enseñar en contextos que requieran aptitudes viso-espaciales. También se podría ver hasta qué punto, el control de estos factores reduce las diferencias de rendimiento entre sexos.

Los siguientes artículos han destacado la importancia y la especialización de la Memoria de Trabajo en relación no sólo con el factor general de inteligencia g , sino también con las aptitudes viso-espaciales. El apoyo empírico a este resultado sugiere la utilización de pruebas de Memoria de Trabajo con imágenes en procesos de selección de personal para tareas laborales que requieran, entre otras, aptitudes viso-espaciales.

Procesos como el de la Rotación Mental y la Planificación, además de la Orientación, han demostrado ser claves en la realización de las tareas viso-espaciales. La Rotación Mental, un proceso ampliamente estudiado, aparece nuevamente en la resolución de tareas dinámicas utilizadas. Es posible que dichos procesos estén también implicados en la resolución de otros problemas viso-espaciales.

Los resultados apoyan también que las pruebas informatizadas dinámicas son una alternativa válida y fiable para la evaluación integral de las aptitudes viso-espaciales y que los indicadores que nos ofrecen, (Rotación Mental, Orientación y Planificación) son óptimos predictores del rendimiento espacial en un contexto dinámico.

Por último mencionaremos algunas ideas sobre las futuras líneas de investigación. Consideramos esencial cuantificar las propiedades morfológicas y espaciales de todas o de la mayoría de las imágenes de las pruebas dinámicas. Este control tendría el objetivo de calcular la dificultad de resolución de los ítems en tareas de orientación, es decir, que además de predeterminar las discrepancias angulares (en grados) que influyen de la rotación mental, también establecer los tamaños de las figuras (milímetros) e incluso las velocidades de los elementos (pixel/segundo). De esas medidas sería conveniente realizar análisis de validez

convergente y de criterio. Queda pendiente también aclarar teórica y empíricamente qué otro sistema es el que se encarga específicamente de las transformaciones mentales visuales y cómo este a su vez se coordina con la Memoria de Trabajo. Para ello se pueden seguir combinando las pruebas dinámicas en condición de doble tarea y en relación con los diferentes subsistemas de Memoria de Trabajo. En vista de la capacidad predictiva del modelo del cuarto estudio empírico, sería interesante aplicarlo a otros contextos o tareas espaciales para ver si mantiene sus propiedades métricas. Combinar también el feedback de la prueba para cada una de las variables del modelo con el objetivo de ver su influencia en el rendimiento viso-espacial.

Esperamos que el presente trabajo contribuya a mejorar la evaluación de la aptitud viso-espacial y a explicar un poco más los procesos implicados a través del modelo de la aptitud viso-espacial desarrollado.

Referencias

- Abad, F. (2001). *Algunas soluciones para la estimación del modelo de elección múltiple de Thissen y Steinberg*. Tesis doctoral. Madrid: UAM.
- Alexander, W.P. (1935). Intelligence, concrete and abstract. *British Journal of Psychology*. Monograph Supplement, 19, 1-177.
- Anderson, G.V., Fruchner, B., Manuel, H.T., & Worschel, P. (1954). *Survey of research on Spatial Factors*. USAF Research Bulletin TR-54-84. Lackland Air Force Base.
- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R.M., (1968) Human Memory. En K.W. Spence (Eds.) *The Psychology of Learning*. Vol.2. New York. Academic Prees.
- Averbach, E. & Coriell, A.S. (1961). Short-term memory in vision. *Bell Systems Technical Journal*. 40, 309-328.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. (2003). Working memory, looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4, 829-839.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D., & Lieberman, K. (1980). Spatial working memory. In Nickerson, R. S. (Ed.), *Attention and Performance VIII*: Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Binet, A. (1904). A propos de la mesure de l'intelligence. *L'année psychologique*, 11, 69-82.
- Berger, R. (1976). *El conocimiento de la pintura*. Noguer: Barcelona.

- Carroll, J.B. (1993). *Human cognitive Abilities: A survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cattell, R.B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of educational psychology*, 54, 1-22.
- Cattell, R.B., & Warburton, E.W. (1967). *Objective Personality and Motivation Tests*. Urbana, Champaign, Ill: University of Illinois Press.
- Colom, R. (1995). *Tets, inteligencia y personalidad*. Madrid: Pirámide.
- Colom, R., Contreras, M.J., Botella, J., & Santacreu, J. (2002). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32, 903-912.
- Colom, R., Contreras, M.J., Shih, P.C., & Santacreu, J. (2003). The assessment of spatial ability through a single computerized test. *European Journal of Psychological Assessment*, 19, 92-100.
- Colom, R., Flores-Mendoza, C., Quiroga, M^a A., Privado, J. (2005). Working Memory and General Intelligence: The Role of Short-Term Storage. *Personality and Individual Differences*, 39, 1005-1014.
- Colom, R., & Shih, P. C. (2004). Is working memory fractionated onto different components of intelligence? A reply to mackintosh and bennett (2003). *Intelligence*, 32, 431-444.
- Cooper, L.A., & Shepard, R.N. (1973). Chronometric studies of the rotation mental images. En W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. Londres: Academic Press.
- Contreras, M.J., Colom, R., Hernández, J.M., Santacreu, J. (2003). Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis. *The Journal of General Psychology*, 130, 277-290.

- Conway, A., Cowan, N., Bunting, M., Theriault, D., Minkoff, S. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163-183.
- Conway, A.R.A., Kane, M.J., Bunting, M.F., Hambrick, D.Z., Wilhelm, O., Engle, R.W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 769-786.
- Crespo, A. (2002). *Cognición Humana. Mente, ordenadores y neuronas*. Madrid: Ramón Areces.
- Damasio, A.R., & Benton, A.L. (1979). Impairment of hand movements under visual guidance. *Neurology*, 29, 170-178.
- D'Oliveira, T.C. (2004). Dynamic Spatial Ability: An Exploratory Analysis and Confirmatory Study. *International Journal of Aviation Psychology*, 14, 19-38.
- Eliasmith, C. (2009). Dynamics, control, and cognition. In P. Robbins and M. Aydede (Eds.) *Cambridge Handbook of Situated Cognition*. Cambridge University Press. pp. 134-154
- Eliot, J., & Smith, I.M. (1983). *An international directory of spatial test*. Windsor: NFER-Nelson.
- Engle, R.W., Kane, M.J. & Tuholski, S.W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In Miyake, A. & Shah, P. (Eds.) *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. London: Cambridge Press.
- Galton, F. (1883). *Inquires into Human Faculty and its Development*. London: E.P: Dutton.
- Gibson, J.J. (1947). *Motion picture testing and research. Army air forces aviation psychology program*. (Rep. N°. 7). Wahington D.C.: Goberment Printing Office.

- Guilford, J. P. y Lacey, J. I. (1947). Printed Classification Tests, A. A. F. Aviation Psychological Progress Research Report, No. 5. Washington, DC: U. S. *Government Printing Office*.
- Gugerty, L. & Brooks, J. (2001). Seeing where you are heading: Integrating environmental and egocentric reference frames in cardinal direction judgments. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 251-266.
- Halpern, D. F. (2000). Sex differences in cognitive abilities (3rd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Halpern, D. F., & Collaer, M. L. (2005). *Sex Differences in Visuospatial Abilities: More Than Meets the Eye*. En P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* Cambridge University Press (pp- 170-212).
- Hernández, J.M. (2000). *La personalidad: Elementos para su estudio*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Hernández, J.M., Santacreu, J., & Rubio, V. (1999). Evaluación de la personalidad: Una alternativa teórico metodológica. *Escritos de Psicología*, 3, 20-28.
- Herrnstein, R. J. and Murray, C., (1994). *The Bell Curve*. New York: The Free Press.
- Hochberg, J. & McAlister, E. (1953). A quantitative approach to figural “goodness”. *Journal of Experimental Psychology*, 46, 361-364.
- Hubel, D. H. & T. N. Wiesel, (1959). Receptive Fields Of Single Neurones In The Cat's Striate Cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- Hunt, E. (2010). *Human Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, 92, 137-172.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and

- visuospatialmemory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology-General*, 133, 189–217.
- Klette, R., & Rosenfeld, A. (2004). *Digital geometry: geometric methods for digital picture analysis*. Morgan Kaufmann: San Francisco.
- Kohs, S.C. (1923). *Intelligence Measurement*. New York: MacMillan.
- Kosslyn, S. M. (1983). Why "Imagery, propositions, and the form of internal representations" became a Citation Classic. *Current Contents/Social and Behavioral Sciences*, 15, 18.
- Kosslyn, S. M. (1978). *Imagery and internal representations*. In E. Rosch and B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology*, 7, 341-370.
- Kosslyn, S. M., and Thompson, W. L. 1999. Shared mechanisms in visual imagery and visual perception: Insights from cognitive neuroscience. In *Handbook of Cognitive Neuroscience* (M. S. Gazzaniga, Ed.), 2nd ed., pp. 975–985. MIT Press, Cambridge, MA.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation and perspective-taking spatial abilities. *Memory & Cognition*, 29, 745-756.
- Larson, G. E. (1996). Mental rotation of static and dynamic figures. *Perception & Psychophysics*, 58, 153-159.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lohman, D. (1979). *Spatial ability: a review and reanalysis of the correlational literature*. Technical Report, N.8. Stanford University, Aptitude Research Project, School of Education.

- Lohman, D. (1988). Spatial abilities as a traits, processes and knowledge. En R.J. Sternberg (ed.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, vol. 4. Hillsdale, Nueva Jersey: LEA.
- McFarlane, M.A. (1925). A study of practical ability. *British Journal of Psychology*, Monograph Supplement, 8.
- McGrew, K. (2009). Editorial: CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research, *Intelligence*, 37, 1-10.
- Miyake, A., Shah, P. (1999). *Models of working memory*. Cambridge, Cambridge Univeristy Press.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology; General*, 130, 621-640.
- Montello, D. R. (2005). Navigation. In P. Shah & A. Miyake (Eds.) *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* pp. 257-294. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mumaw, R. J. & Pellegrino, J. W. (1984). Individual differences in complex spatial processing. *Journal of Educational Psychology*, 76, 920-939.
- Mumaw, R.J., Pellegrino, J. & Glaser, R. (1980). *Some puzzling aspects of spatial ability*. St. Louis, MO. Psychonomic Society Annual Conference.
- Olea, J., Ponsoda, V., & Prieto, G. (1999). *Test informatizados: fundamentos y aplicaciones*. Madrid: Pirámide.
- Olea, J., & Ponsoda, V. (2003). *Test Adaptativos informatizados*. Madrid: UNED.
- Pearson, D.G. (2001). Imagery and the visuo-spatial sketchpad. In J. Andrade (Ed.), *Working Memory in Perspective*. Hove: The Psychology Press.

- Pellegrino, J.W., Hunt, E. (1989). Computer-controlled assessment of static and dynamic spatial reasoning. En R. Dillon y J.W. Pellegrino (Eds.), *Testing: Theoretical and Applied Perspectives*. New York: Praeger.
- Pellegrino, J., Mumaw, R.J., Kail, R., & Carter, P. (1979). *Differences slopes for different folks: analysis of spatial ability*. Phoenix: Conferencia presentada en el congreso annual de la Psychonomic Society.
- Peña, D., Contreras, M.J., Shih, P.C., Santacreu, J. (2008). Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychologica* (en prensa).
- Perenin MT, Vighetto A (1988) Optic ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanisms. I. Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Brain*, 111, 643-674.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1971). *The child's conception of space*. (F. J. Langdon & J. L. Lunzer, Trans.). London : Routledge and Kegan Paul Ltd.
- Prieto, G., Carro, J., Orgaz, B., & Pulido, F. (1993). Análisis cognitivo de un test informatizado de visualización espacial. *Psicothema*, 5, 293-301.
- Pylyshyn, Z.W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.
- Santacreu, J. (1999). SODT-R y SVDT-R. Tests Informatizados para la evaluación de la Aptitud Espacial Dinámica (versiones revisadas). Informe Técnico. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Schiff, W., & Oldak, R. (1990). Accuracy of judging time to arrival: Effects of modality, trajectory and gender. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 303-316.

- Seiberg, W.F., & Snow, R.E. (1965). *Studies in cine-psychometry I: Preliminary factor analysis of visual cognition and memory*. Indiana: Purdue University.
- Shah, P., Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4-27.
- Shepard, R. N and Cooper, L. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA, US: MIT Press.
- Shepard, R and Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Silverman, I., Choi, J., & Peters, M. (2007). The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, 36, 261-268.
- Silverman, I., & Eals, M. (1992). Sex differences in spatial abilities: Evolutionary theory and data. In J. H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 531–549). New York: Oxford Press.
- Smith, I.M. (1964). *Spatial ability: its educational and social significance*. London: University of London.
- Talmy, L. (1983). How languages structure space, en HL Pick y LP Acredolo, (eds.): *Spatial Orientation*, Plenum Press, New York, pp. 225-282.
- Thurstone, L.L. (1938). *Primary Mental Abilities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Thurstone, L.L. (1948). *Minnessota Paper Form Board Test*. New York: Psychological Corporation.
- Thurstone, L.L., & Thurstone, T.G. (1949). *Mechanical Aptitude II; description of group test*. (Report 54). Chicago: University of Chicago Press.

- Tversky, B. (2009). Spatial cognition: Embodied and situated. In P. Robbins and M. Aydede (Editors). *The Cambridge Handbook of Situated Cognition*. Pp. 201-217. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tversky, B. (2008). Spatial cognition: Situated and embodied. In P. Robbins and M. Aydede (Editor). *Cambridge handbook of situated cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tversky, B. (2005a). "Functional Significance of Visuospatial Representations". Chapter 1 in K. Shah and R. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Tversky, B. (2005b). "Visuospatial reasoning". Chapter 10 in K. Holyoak and R. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Villafañe, J. (2006). *Introducción a la teoría de la imagen*. Pirámide.
- Wickens, C.D. (1999). Frames of reference for navigation. In D. Gopher & A. Koriati, Editors, *Attention and performance, Vol. 17: Cognitive regulation for performance: Interaction of theory and application*. Cambridge, MA: Bradford Book, 113-144.
- Wickens, C. D., Vincow, M., Yeh, M. (2005), Design applications of visual spatial thinking: The importance of frame of reference. In A. Miyaki & P. Shah (Eds.), *Handbook of visual spatial thinking*. New York: Oxford University Press.

Lista de Figuras

- Modelo integrado Cattell-Horn-Carroll (CHC)	10
- Punto, línea y plano: Elementos morfológicos sencillos de la imagen	15
- Ejemplo de análisis de complejidad estructural a partir de la evaluación de los rasgos formales comparando tres imágenes	16
- Modelos de solución de problemas simples de rotación espacial	23
- Modelo de tres componentes de Memoria de Trabajo	28
- Modelo multiomponente de Memoria de Trabajo	28
- Representación gráfica de dos poblaciones difiriendo en sus distribuciones	32
- Ejemplo de un ítem informatizado de Visualización Espacial	37
- Índices del SODT-R	38
- Ejemplo de ensayo del test SODT-R	50
- Ejemplo de diferencias en feedback según los puntos de huella de los móviles en la tarea SODT 2.0	51
- Ejecución media de los tres grupos en las dos aplicaciones del SODT-R realizadas en el estudio 1	52
- Ejecución media de los dos grupos en los tres bloques de ensayos del SDT 2.0 aplicados en el estudio 2	53
- Example from the intelligence test	61
- Computation span task	62
- Dot matrix task	62
- Divided attention task	63
- Funnel task	63
- Measurement model for intelligence, working memory capacity, and multitasking	64
- SEM for intelligence and working memory capacity as correlated predictors, and multitasking as the dependent variable	64
- Results from the König et al. (2005) replication study	65
- Spatial Orientation Dynamic Test – Revised (SODT-R)	77
- From left to right: verification task (processing scores), dot storage and answer screen (storage scores).	79
- From left to right: first verification task, second verification task and answer screen (recall task where solutions from the equations comprised on the verification tasks must be reproduced in their correct serial order)	79
- Mental Rotation (average of the correct answers) and Response Time (seconds/10) in the three AD conditions	81
- Spatial Orientation Dynamic Test	100
- Structural model to predict Gv	103
- Estimated regression models for each sex group	109

Lista de Tablas

- Descriptivos del índice de Desviación para cada grupo de feedback y tarea aplicados en el primer estudio	52
- Descriptivos del índice de Desviación para cada grupo de feedback y tarea aplicados en el segundo estudio	53
- Descriptive statistics and correlation matrix	61
- Descriptive statistics in different angular discrepancy (AD) conditions	80
- Correlation matrix	82
- Regression analysis for predicting Distance (general spatial dynamic orientation performance)	83
- Descriptive statistics and correlation Matrix	105
- Summary of the linear regression models to predict Distance	106
- Model fir summary of the inveriance analysis	108